This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

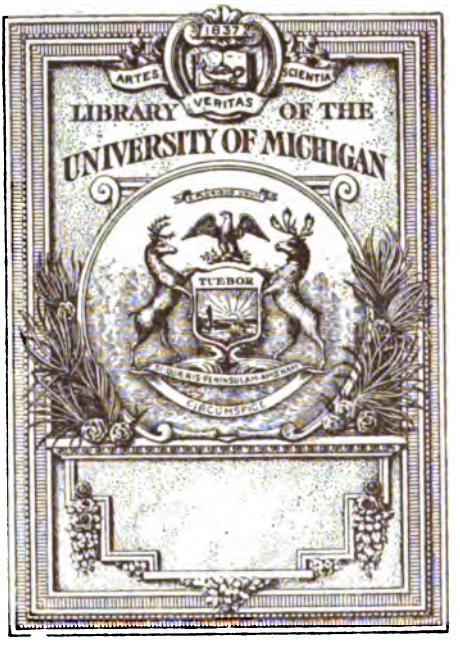
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

B 940,990



THE GIFT OF
PROF. ALEXANDER ZIWET

QC
71
.D871
G5
1908

Ziel und Struktur

der

physikalischen Theorien

von

Pierre Duhem

Korrespondierendem Mitglied des Institut de France
Professor der Theoretischen Physik an der Universität Bordeaux

Autorisierte Übersetzung von

Dr. Friedrich Adler

Privatdozenten an der Universität Zürich

Mit einem Vorwort von

Ernst Mach

Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1908

LC
11
D871
35
1908

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig

BOLTZMANN, L., Populäre Schriften. VII, 440 Seiten. 1905. M. 10.—, geb. M. 11.—

Physikalische Zeitschrift. Daß die Lektüre des Werkes jedem Leser unserer Zeitschrift genußreiche Stunden bereiten wird, bedarf wohl kaum der Versicherung. Vorträge über grundlegende Fragen der exakten Wissenschaften, Gedächtnisreden auf Kirchhoff, Stefan, Loschmidt, Erörterungen über philosophische Gegenstände und last not least die Reise eines deutschen Professors ins Eldorado voll köstlichen Humors, Ernst und Scherz in geistvollem Geplauder vermengend, das alles zieht an dem Leser vorüber, auch Überraschungen harren desselben, die aber hier nicht verraten werden sollen. Muß der Referent jetzt noch versichern, daß die populären Schriften Boltzmanns auch in den Händen der übrigen Leser sein sollten?

BOLTZMANN, L., Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes. *I. Teil.* XII, 139 Seiten mit vielen Textfiguren und 2 lithographischen Tafeln. 1891. *II. Teil.* VIII, 166 Seiten mit Figuren im Text und zwei Tabellen. 1893. je M. 5.—, geb. M. 6.—

Nur ein Boltzmann konnte den oft unentwirrbar komplizierten Plan des Maxwellschen Lehrgebäudes bis in alle Details so verstehen, um ihn mit dieser Klarheit bloßzulegen. Aus den einfachsten Annahmen — den Gesetzen der cyklischen Bewegungen und der Lagrangeschen Gleichung — entwickeln sich die weittragendsten Schlüsse mit einer Klarheit und Eleganz, die neben der vollendeten wissenschaftlichen Befriedigung auch einen hervorragenden ästhetischen Genuß bietet.

BOLTZMANN, L., Vorlesungen über Gastheorie. *I. Teil.* Theorie der Gase mit einatomigen Molekülen, deren Dimensionen gegen die mittlere Weglänge verschwinden. IV, 200 Seiten. 1895. M. 6.—, geb. M. 7.— *II. Teil:* Über die van der Waals'sche Theorie, die Gase mit mehratomigen Molekülen und die Dissoziation. X, 265 Seiten. 1898. M. 7.—, geb. M. 8.—

BOLTZMANN, L., Vorlesungen über die Prinzipe der Mechanik. *I. Teil:* X, 241 S. 1897. M. 6.—, geb. M. 7.—

II. Teil, enthaltend: **Die Wirkungsprinzipe, die Lagrangeschen Gleichungen und deren Anwendungen.** X, 336 Seiten mit 10 Figuren. 1904. M. 9.—, geb. M. 10.—

BUCHHOLZ, HUGO, Das mechanische Potential, nach Vorlesungen von L. Boltzmann bearbeitet und **Die Theorie der Figur der Erde.** Zur Einführung in die höhere Geodäsie (Angewandte Mathematik) I. Teil. XVI, 470 Seiten mit 137 Abbildungen. 1908. M. 15.—, geb. M. 16.—

Der vorliegende Band enthält außer den geodätischen Fundamentalbestimmungen für die Oberfläche des Erdsphäroids eine zusammenhängende Darstellung der klassischen mechanischen Theorie der Figur der Erde nach Clairaut und Laplace. Von besonderem Interesse dürfte auch der einleitende Teil des Werkes sein, in dem Verfasser den Inhalt einer Vorlesung seines verstorbenen Lehrers Ludwig Boltzmann über das mechanische Potential als Voraussetzung der potentialtheoretischen Bestimmung der Erdfigur darstellt.

EBERT, H., Magnetische Kraftfelder. Die Erscheinungen des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Induktion, dargestellt auf Grund des Kraftlinien-Begriffes. Zweite, vollkommen neu bearbeitete Auflage. 8°. XII, 415 Seiten mit 167 Abbildungen im Text. 1905. M. 7.—, geb. M. 8.—

Zeitschr. f. d. österr. Gymnasien: Das vorliegende Buch stellt wohl von allen bisher erschienenen Schriften über denselben Gegenstand eine der besten Entwicklungen des neuesten Standes der theoretischen Elektrizitätslehre auf mechanischer Grundlage dar

Zeitschr. f. d. physikal. u. chem. Unterr.: Völlig überflüssig wäre es, die Fachgenossen auf den hervorragenden Wert des vorliegenden Werkes noch besonders hinzuweisen. Ist es doch die beste wissenschaftliche Rüstkammer für die Entscheidung der jetzt im Vordergrunde stehenden methodischen Frage, wie und in welchem Umfang der Kraftlinienbegriff in dem physikalischen Unterricht der verschiedenen höheren Lehranstalten zu verwerten sei.

HOPPE, FRITZ, Wie stellt man Projekte, Kostenanschläge und Betriebskostenberechnungen für elektrische Licht- und Kraftanlagen auf? 4. vervollständigte Auflage. V, 437 Seiten. 1907. geb. M. 5.50

Dieses bereits in dritter Auflage erschienene Buch behandelt die für jeden in der Praxis stehenden Elektrotechniker und Ingenieur, für jeden an einem Polytechnikum oder Technikum Studierenden der Elektrotechnik, für jeden projektierenden und akquirierenden Ingenieur wichtige Frage der Aufstellung von Projekten und Kostenanschlägen für elektrische Anlagen jeden Umfanges und jeden Systemes in erschöpfender Weise.

LORENTZ, H. A., Lehrbuch der Physik zum Gebrauch bei akademischen Vorlesungen. Nach der vierten, von H. A. Lorentz und L. H. Siertsema bearbeiteten Auflage und unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Holländischen übersetzt von G. Siebert. In 2 Bänden. M. 18.—, geb. M. 20.—

I. Band: V, 482 S. mit 236 Abbild. 1906. M. 8.—, geb. M. 9.—

II. Band: VI, 621 S. mit 257 Abbild. 1907. M. 10.—, geb. M. 11.—

Zeitschrift für physikal. Chemie: Dies ist ein Werk, welches man fast rückhaltlos der studierenden Jugend empfehlen kann. Nicht nur den Medizinern, sondern insbesondere den Chemikern, für welche Umfang und Behandlungsweise gerade recht erscheinen, wird es die allerbesten Dienste leisten. Daß bei einem Meister seines Faches, wie H. Lorentz, sachlich an dem Inhalte nichts auszusetzen ist, braucht nicht erst gesagt zu werden. W. O.

Alexandra Ziwet

Ziel und Struktur
der
physikalischen Theorien

von
Pierre Maurice Marie Duhem
Korrespondierendem Mitglied des Institut de France
Professor der Theoretischen Physik an der Universität Bordeaux

Autorisierte Übersetzung von
Dr. Friedrich Adler
Privatdozenten an der Universität Zürich

Mit einem Vorwort von
Ernst Mach

Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1908

QC
71
.D871
G5
1908

Druck von Emil Herrmann senior in Leipzig.

Printed in Germany.

From the Estate of
Prof. Linet
4-7-30

Vorwort zur deutschen Ausgabe.

Der Verfasser des vorliegenden Buches, Pierre Maurice Marie Duhem, Professor der theoretischen Physik an der Universität Bordeaux, ist durch seine Leistungen auf allen Gebieten der theoretischen Physik und Chemie, durch seine Forschungen über die ältere Geschichte der Physik, insbesondere auch über Leonardo da Vinci und dessen Beziehungen zu Vorgängern und Nachfolgern so bekannt und berühmt, daß eine besondere Empfehlung seiner Schriften überflüßig scheint.

Als ich aber von dem Plan hörte, eine von Dr. Friedrich Adler besorgte Übersetzung des Duhemschen Buches „La théorie physique, son objet et sa structure" herauszugeben, folgte ich gern der Einladung des Herrn Verlegers, dieselbe bei dem deutschen Publikum einzuführen. Denn eine eigenartige philosophische, oder genauer erkenntniskritische Arbeit liegt hier vor, zu welcher der Verfasser durch seine vielseitige vorausgegangene Lebensarbeit berufen scheint.

Nicht in trockener, abstrakter Weise, sondern unter fortwährender Beleuchtung durch lebendige historische Tatsachen, zeigt der Verfasser, wie die physikalische Theorie allmählich aus einer vermeintlichen Erklärung auf Grundlage einer vulgären, oder mehr oder weniger wissenschaftlichen Metaphysik in ein auf wenigen Prinzipien ruhendes System mathematischer, die Erfahrungen ökonomisch beschreibender und klassifizierender Sätze sich umwandelt. Hierbei wechselt das erklärende Bild vielfach, bis es schließlich ganz abfällt, während der beschreibende Teil fast unverändert in die neue vollkommenere Theorie übergeht. Die Gegenüberstellung

von Descartes und Laplace einerseits, Pascal und Ampère anderseits zeigt uns die letzteren auf einem höheren Niveau der philosophischen Einsicht. Natürlich nimmt die Individualität der Forscher einen bedeutenden Einfluß auf die historische Entwicklung. Dies wird erläutert durch ansprechende Betrachtungen über den Gegensatz umfassender und tiefer Geister, über Modelle und logisch aufgebaute Theorien, über die englische Schule einerseits, die französische und deutsche Schule anderseits. Das Modell wie das Bild hält Duhem für ein parasitäres Gewächs. Daß und worin hier Duhem zu weit zu gehen scheint, habe ich anderwärts ausgeführt.

Dem ersten und allgemeinen Teil folgt ein zweiter, auf das besondere Gefüge der physikalischen Theorie eingehender Teil. Hier werden die Begriffe Quantität, Qualität, Zahl, Größe, Intensität erörtert. Das Streben Galileis und Descartes', die Qualitäten aus der mathematischen Physik zu entfernen, wird wieder an historischen Beispielen verständlich gemacht und lebendig veranschaulicht. Die Zahl der primären Qualitäten darf, ohne alle Wissenschaft illusorisch zu machen, nicht beliebig vermehrt, dagegen auch nicht willkürlich beschränkt werden, vielmehr sind alle primären Qualitäten als vorläufig nicht reduzierbar anzusehen. Faradays elektrodynamische Rotation erkennt Ampère mit einem Blick als nicht reduzierbar auf elektrostatische Kräfte und entdeckt in derselben eine neue primäre Qualität. Wichtig ist die Betonung der engen Verflechtung, der Untrennbarkeit von Experiment und Theorie. Die Sätze der Theorie müssen logisch verträglich und in ihrer Gesamtheit mit dem Experiment in Übereinstimmung sein. Wegen der Genauigkeitsgrenzen der Beobachtung, wodurch einem theoretischen Wert eine Unzahl von experimentellen Werten zugeordnet werden kann, hat jedes theoretische Gesetz nur provisorische Geltung. Lehrreich ist der Hinweis auf Beispiele mathematischer Theorien, welche experimentell überhaupt unprüfbar bleiben. Verfasser kommt zu dem Schluß, daß der Unterricht weder rein deduktiv, noch rein induktiv vorgehen kann. Die beste Darlegung sei die historische, welche

sich dem Entwicklungsgange der Wissenschaft anschließt, deren Grundannahmen (Hypothesen) ja nicht willkürlich erfunden oder gewählt wurden, sondern, allmählich keimend, sich den Forschern aufgedrängt haben.

Möge das Buch nach Verdienst auch in Deutschland Anerkennung finden, aufklärend und fördernd wirken!

Wien, im November 1907.

Ernst Mach.

Vorbemerkung des Übersetzers.

Für die Veranstaltung einer deutschen Ausgabe des vorliegenden Werkes waren im wesentlichen folgende Gesichtspunkte maßgebend.

Die physikalische Theorie ist ein außerordentlich komplizierter Organismus, der nur auf Grund langjähriger praktischer und theoretischer Arbeit vollständig verstanden werden kann. Trotzdem muß eine systematische leicht faßliche Darstellung des Wesens der physikalischen Theorie jedem, der am Anfang physikalischer Studien steht, außerordentlich willkommen sein. Die Klarlegung der verschiedenen Auffassungen des Zieles der Physik, die prinzipielle Aufklärung über den Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie, über die Bedeutung der Korrektionen, der mathematischen Symbole usw. wird den Studierenden vor allem vor der Verfolgung von Scheinproblemen schützen und sein Verständnis für die Methoden, die er anwendet, wesentlich beschleunigen. Eine derartige Orientierung erfüllt ihren Zweck natürlich nur, wenn sie leicht zugänglich, also in der Muttersprache lesbar ist.

Aber auch bei dem selbständigen Forscher erfährt infolge des gewaltigen Anwachsens der Literatur die fremdsprachige naturgemäß oft eine Vernachlässigung. Gerade das Duhemsche Werk verdient es aber von diesem Umstande verschont

zu bleiben, denn es gibt eine Darstellung der Probleme, wie wir sie bisher überhaupt nicht besaßen. Die Elimination aller Metaphysik bildet die Grundtendenz des Werkes und das Prinzip der Ökonomie des Denkens, das Mach als erster formuliert hat, wird konsequent festgehalten. Dadurch kommen eine Reihe von Problemen in vollständig neue Beleuchtung und viele Tatsachen der historischen Entwicklung erfahren eine andere Deutung.

Endlich soll aber durch die Übersetzung auch die kritische Auseinandersetzung mit Duhem erleichtert werden. Dabei liegt mir vor allem an der Auseinandersetzung mit der Machschen Auffassung. Duhem hat die Konsequenzen des Ökonomieprinzips im weitesten Maße gezogen, er hat aber den weiteren Schritt, den Mach getan, die Aufzeigung der „Elemente" als grundlegendes Material der Wissenschaft in keiner Weise berührt. Durch die Betrachtung der Elemente, wird aber die Elimination aller absolut unveränderlichen Körper erreicht und eine Physik, die vom erfahrungsmäßig gegebenen (veränderlichen) Körper ausgeht, möglich. Für diese Auffassung löst sich dann in einfachster Weise die Frage, ob die ökonomische Darstellung auch naturgemäß sei und alle „Realitäten, die hinter den Erscheinungen verborgen sind" werden nicht nur als Objekt der Theorie beseitigt, sondern auch als Objekt der Wirklichkeit mit samt ihrem „Reflex", auf das Nichts, das sie tatsächlich sind, reduziert.[1]) Es wird dann wohl auch außer der Anwendung der theoretischen Vorstellungen als Grundlagen (Duhem sagt „Hypothesen" im etymologischen Sinn des Wortes) für die mathematische Deduktion der Entstehung derselben aus dem Erfahrungsmaterial besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden sein. Es kann jede und muß mindestens eine der Erfahrungen, die sich bei den Deduktionen als Konsequenzen ergeben, als Ausgangspunkt zur Erlangung der theoretischen Vorstellungen dienen. In dieser Hinsicht werden dann wohl die theoretischen Vorstellungen anstatt als Grundlagen als Knotenpunkte im Erfahrungs-

[1]) Vergl. z. B. p. 29 sowie p. 369 des vorliegenden Werkes.

material (Funktionen) zu bezeichnen sein. Auf die ausführliche Diskussion aller dieser Fragen soll bei anderer Gelegenheit eingegangen werden.

Was die formale Seite betrifft, so habe ich mich möglichst streng an den Wortlaut des Originals und die Terminologie Duhems gehalten. Die angeführten Zitate habe ich bis auf einige, die mir nicht zugänglich waren, mit den Originalen verglichen und diejenigen aus anderen Sprachen, dort wo es mir nötig schien, direkt aus dem Urtext übersetzt. Die vorhandenen Übersetzungen fremder Autoren ins Deutsche habe ich soweit es angängig war, direkt übernommen.

Ein Teil der Übersetzung wurde von meiner Frau, der andere von mir hergestellt, und auch ersterer von mir durchgesehen. Hr. Prof. Duhem hatte die große Freundlichkeit ein Korrekturexemplar selbst zu lesen, ein weiteres revidierte mein Freund Dr. H. v. Halban. Die Herren Prof. Dr. H. Burckhardt und Prof. Dr. A. Kleiner waren so freundlich, mir in bezug auf verschiedene Fragen Auskunft zu erteilen. Allen, die mich bei der Arbeit unterstützt haben, spreche ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aus.

Zürich, 31. Dezember 1907.

Friedrich Adler.

Vorwort zur französischen Ausgabe.

In dieser Schrift sollen die Methoden, auf Grund deren die physikalische Wissenschaft sich entwickelt, einer einfachen logischen Analyse unterzogen werden. Vielleicht werden manche Leser die hier dargelegten Überlegungen auf andere Wissenschaften als die Physik ausdehnen wollen, vielleicht werden sie auch über das spezielle Gebiet der Logik hinausgehende Schlüsse zu ziehen wünschen. Wir haben uns jedoch sorgsam vor der einen wie der andern Verallgemeinerung zu hüten gesucht. Wir haben unseren Untersuchungen enge Grenzen gesetzt, um

in möglichst vollständiger Weise das beschränkte Gebiet, welches wir uns abgesteckt haben, erforschen zu können.

Bevor der gewissenhafte Experimentator ein Instrument zur Erforschung einer Erscheinung verwendet, zerlegt er es, prüft jeden Teil, studiert die Einrichtung desselben und unterwirft es verschiedenen Vorversuchen. Er weiß dann genau, was die Angaben des Apparates bedeuten, kennt die Grenzen ihrer Präzision und wird ihn so mit Sicherheit verwenden können.

In der gleichen Weise haben wir die physikalische Theorie analysiert. Wir haben vor allem gesucht ihr Ziel mit Genauigkeit festzustellen. Nachdem wir dasselbe erkannt, haben wir ihre Struktur geprüft. Wir haben der Reihe nach den Mechanismus einer jeden Operation, durch die sie zustande kommt, studiert, wir haben gezeigt, was jede einzelne derselben zur Erreichung des Zieles der Theorie beiträgt.

Wir haben uns Mühe gegeben, unsere Behauptungen durch Beispiele zu erläutern, da wir vor allem Erörterungen, die in keinem unmittelbarem Zusammenhang mit der Wirklichkeit stehen, zu vermeiden suchten.

Überdies ist die in vorliegender Schrift dargelegte Auffassung nicht ein logisches System, das allein aus Betrachtungen über allgemeine Begriffe hervorging. Sie entstand nicht aus einem Gedankengang, der den konkreten Einzeltatsachen feindlich gegenübersteht. Der täglichen Praxis der Wissenschaft verdankt sie ihre Entstehung, aus ihr hat sie sich entwickelt.

Es gibt beinahe kein Kapitel der theoretischen Physik, das wir nicht bis in seine Einzelheiten zu lehren hatten, es gibt kaum eines, für dessen Fortschritt wir nicht wiederholt unsere Kraft eingesetzt haben. Die Gedanken über das Ziel und die Struktur der physikalischen Theorien, die wir heute im Zusammenhang vorlegen, sind die Frucht dieser zwanzigjährigen Arbeit. Wir haben durch diese lange Prüfung uns vergewissern können, daß sie richtig und fruchtbar sind.

Pierre Duhem.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort zur deutschen Ausgabe III
Vorbemerkung des Übersetzers V
Vorwort zur französischen Ausgabe VII

Erster Teil.
Das Ziel der physikalischen Theorien.

Erstes Kapitel. — Physikalische Theorie und metaphysische Erklärung 3
§ 1. Die Auffassung der physikalischen Theorie als Erklärung. . 3
§ 2. Auf Grund der vorstehenden Ansicht sind die physikalischen Theorien der Metaphysik untergeordnet 6
§ 3. Auf Grund der vorstehenden Ansicht hängt der Wert einer physikalischen Theorie vom metaphysischen System, das man anerkennt, ab 8
§ 4. Der Streit über die verborgenen Ursachen 13
§ 5. Kein metaphysisches System reicht für den Aufbau einer physikalischen Theorie aus 16

Zweites Kapitel. — Physikalische Theorie und naturgemäße Klassifikation 20
§ 1. Die wahre Natur der physikalischen Theorie und die Operationen, durch die sie zustande kommt 20
§ 2. Welchen Nutzen hat eine physikalische Theorie? Die Theorie als Ökonomie des Denkens 23
§ 3. Die Auffassung der Theorie als Klassifikation 25
§ 4. Die Theorie hat die Tendenz sich in eine naturgemäße Klassifikation umzuformen 27
§ 5. Die der Erfahrung vorangehende Theorie 31

Drittes Kapitel. — Die beschreibenden Theorien und die Geschichte der Physik 35
§ 1. Die Rolle der naturgemäßen Klassifikation und der Erklärungen in der Entwicklung der physikalischen Theorien 35
§ 2. Die Meinungen der Physiker über das Wesen der physikalischen Theorien 47

Seite

Viertes Kapitel. — Die abstrakten Theorien und die mechanischen Modelle 67
§ 1. Zwei Arten Denker: Umfassende Denker und tiefe Denker . 67
§ 2. Ein Beispiel umfassenden Geistes. Der Geist Napoleons . 70
§ 3. Das umfassende, das scharfe und das geometrische Denken 75
§ 4. Der umfassende und der englische Geist 79
§ 5. Die englische Physik und die mechanischen Modelle . . . 86
§ 6. Die englische Schule und die mathematische Physik . . . 95
§ 7. Die englische Schule und der logische Aufbau einer Theorie 101
§ 8. Die Weiterverbreitung der englischen Methode 111
§ 9. Trägt die Anwendung mechanischer Modelle bei Entdeckungen Früchte? 121
§ 10. Soll der Gebrauch mechanischer Modelle die Forschung nach abstrakten und logisch geordneten Theorien hindern? . . . 128

Zweiter Teil.
Die Struktur der physikalischen Theorien.

Fünftes Kapitel. — Quantität und Qualität 139
§ 1. Theoretische Physik ist mathematische Physik 139
§ 2. Quantität und Maß 140
§ 3. Quantität und Qualität 144
§ 4. Die rein quantitative Physik 147
§ 5. Die verschiedenen Intensitäten derselben Qualität sind durch Zahlen ausdrückbar 150

Sechstes Kapitel. — Die primären Qualitäten 157
§ 1. Über die übermässige Vermehrung der primären Qualitäten 157
§ 2. Eine primäre Qualität ist eine in der Tat, aber nicht von rechtswegen irreduzierbare Qualität 161
§ 3. Eine primäre Qualität ist stets nur in provisorischem Sinne primär 167

Siebentes Kapitel. — Mathematische Deduktion und physikalische Theorie 172
§ 1. Physikalische Annäherung und mathematische Präzision . . 172
§ 2. Mathematische Deduktionen, die physikalisch verwendbar und solche, die physikalisch unverwendbar sind 176
§ 3. Beispiel einer mathematischen Deduktion, die niemals verwendbar werden kann 180
§ 4. Die Annäherungsmathematik 185

Achtes Kapitel. — Das physikalische Experiment 188
§ 1. Ein physikalisches Experiment ist nicht einfach die Beobachtung einer Erscheinung, es ist außerdem die theoretische Interpretation derselben 188

Seite

§ 2. Das Resultat eines physikalischen Experimentes ist ein abstraktes und symbolisches Urteil 192
§ 3. Nur die theoretische Interpretation der Erscheinungen ermöglicht den Gebrauch der Instrumente 201
§ 4. Über die Kritik physikalischer Experimente und den Unterschied der zwischen ihr und der Prüfung gewöhnlicher Aussagen besteht 209
§ 5. Das physikalische Experiment ist weniger sicher, aber genauer und detaillierter, als die nichtwissenschaftliche Konstatierung einer Tatsache 215

Neuntes Kapitel. — Das physikalische Gesetz 217
§ 1. Die physikalischen Gesetze sind symbolische Beziehungen . 217
§ 2. Ein physikalisches Gesetz ist genau gesprochen, weder richtig noch falsch, sondern angenähert 222
§ 3. Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch und relativ, weil es angenähert ist 227
§ 4. Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch, weil es symbolisch ist 230
§ 5. Die physikalischen Gesetze sind detaillierter als jene des gewöhnlichen Verstandes 236

Zehntes Kapitel. — Die physikalische Theorie und das Experiment 238
§ 1. Die experimentelle Kontrolle einer Theorie besitzt in der Physik nicht die gleiche logische Einfachheit wie in der Physiologie 238
§ 2. Ein physikalisches Experiment kann niemals zur Verwerfung einer isolierten Hypothese, sondern immer nur zu der einer ganzen theoretischen Gruppe, führen 243
§ 3. Das experimentum crucis ist in der Physik unmöglich . . . 249
§ 4. Kritik der Newtonschen Methode. — Erstes Beispiel: Die Mechanik des Himmels 253
§ 5. Kritik der Newtonschen Methode (Fortsetzung). — Zweites Beispiel: Die Elektrodynamik 260
§ 6. Konsequenzen in bezug auf den physikalischen Unterricht . 267
§ 7. Konsequenzen in bezug auf die mathematische Entwicklung der physikalischen Theorie 274
§ 8. Gibt es gewisse Postulate der physikalischen Theorie, die durch das Experiment nicht widerlegt werden können? . . 279
§ 9. Hypothesen, deren Wortlaut keine experimentelle Deutung zuläßt 285
§ 10. Der gesunde Menschenverstand hat zu beurteilen, welche Hypothesen aufgegeben werden müssen 290

Seite

Elftes Kapitel. — Die Wahl der Hypothesen 293

§ 1. Worauf sich die von der Logik bei der Wahl der Hypothesen gestellten Bedingungen reduzieren 293

§ 2. Die Hypothesen sind nicht das Produkt einer plötzlichen Schöpfung, sondern das Ergebnis einer fortschreitenden Entwicklung. — Die allgemeine Gravitation als Beispiel . . . 296

§ 3. Der Physiker wählt nicht die Hypothesen, auf die er eine Theorie stützt, sie entstehen in ihm ohne sein Zutun . . . 342

§ 4. Über die Darlegung der Hypothesen im physikalischen Unterricht 348

§ 5. Die Hypothesen können nicht aus Axiomen des gewöhnlichen Wissens abgeleitet werden 352

§ 6. Die Wichtigkeit der historischen Methode in der Physik . . 364

ERSTER TEIL.

DAS ZIEL DER PHYSIKALISCHEN THEORIEN.

Erstes Kapitel.

Physikalische Theorie und metaphysische Erklärung.

§ I. — Die Auffassung der physikalischen Theorie als Erklärung.

Die erste Frage, die sich uns aufdrängt, ist folgende: Welches Ziel hat eine physikalische Theorie? Auf diese Frage hat man verschiedene Antworten gegeben, die sich jedoch in zwei Hauptgruppen zusammenfassen lassen.

Eine physikalische Theorie, haben gewisse Denker geantwortet, hat die ERKLÄRUNG einer Gruppe experimentell festgestellter Gesetze zum Ziel.

Andere Denker sagten: Eine physikalische Theorie ist ein abstraktes System, welches eine Gruppe experimenteller Gesetze ZUSAMMENZUFASSEN und LOGISCH ZU KLASSIFIZIEREN hat, ohne jedoch den Anspruch zu erheben, diese Gesetze zu erklären.

Wir gehen nun daran, diese beiden Antworten nacheinander zu prüfen und die Gründe abzuwägen, die für die Zulassung oder Verwerfung derselben sprechen. Wir wollen mit der ersten, welche eine physikalische Theorie als Erklärung betrachtet, beginnen.

Was ist nun vor allem eine Erklärung?

Erklären (expliquer—explicare) heißt die Wirklichkeit aus den Erscheinungen, die sie wie Schleier umhüllen, herausschälen, um diese Wirklichkeit nackt von Angesicht zu Angesicht zu sehen.

Die Beobachtung physikalischer Phänomene macht uns nicht mit der Wirklichkeit, die sich unter den sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungen verbirgt, sondern nur mit diesen sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungen selbst, die in spezieller und konkreter Form erfaßt werden, bekannt. Die experimentellen Gesetze haben nicht mehr die materielle Wirklichkeit zum Gegenstand, sondern sie handeln von diesen sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungen, die allerdings in abstrakter und allgemeiner Form zur Behandlung kommen. Indem die Theorie die Hülle von den sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungen ablöst und zerreißt, sucht sie in ihnen und unter ihnen, das was wirklich in den Körpern ist, auf.

Nehmen wir ein Beispiel. Saiten- und Blasinstrumente haben Töne hervorgebracht, auf die wir aufmerksam lauschten, die wir sich verstärken und sich abschwächen, steigen und fallen, sich tausendfach nüancieren hörten, die in uns Empfindungen und Gemütsbewegungen entstehen ließen. Das alles bezeichnen wir als akustische Tatsachen.

Unser Verstand hat entsprechend den Gesetzen, die seine Tätigkeit bestimmen, diese speziellen und konkreten Eindrücke einer Durcharbeitung unterworfen, die uns zu allgemeinen und abstrakten Begriffen wie: Intensität, Tonhöhe, Oktave, ganzer Dur- und Mollakkord, Klangfarbe usw. führt. Die experimentellen Gesetze der Akustik haben die Aufgabe, feste Beziehungen zwischen diesen Begriffen und andern ebenso abstrakten und allgemeinen Begriffen auszudrücken. Zum Beispiel lehrt uns ein Gesetz, welche Beziehung zwischen den Dimensionen zweier Saiten aus gleichem Metall besteht, die Töne von gleicher Höhe oder zwei Töne, deren einer die Oktave des andern ist, hervorbringen.

Aber diese abstrakten Begriffe wie Intensität, Höhe eines Tones oder Klangfarbe, spielen für unsern Verstand nur die Rolle allgemeiner Zeichen für unsere Tonempfindungen. Sie lehren ihn den Ton so kennen, wie er in Beziehung zu uns ist, nicht aber wie er selbst in den tönenden Körpern beschaffen ist. Die Theorien der Akustik gehen darauf aus, uns die Wirklichkeit, von der unsere Eindrücke bloß die Hülle und

der Schleier sind, zur Kenntnis zu bringen. Sie wollen uns lehren, daß da, wo wir nur diese Erscheinung, die wir den Ton nennen, wahrnehmen, in Wirklichkeit eine sehr kleine und sehr schnelle Schwingung vorhanden ist. Die Intensität und die Höhe seien nichts anderes als die äußere Erscheinung der Amplitude und der Geschwindigkeit dieser Bewegung, die Klangfarbe, die wahrnehmbare Äußerung der wirklichen Beschaffenheit dieser Bewegung, d. h. eine zusammengesetzte Empfindung, welche aus verschiedenen pendelartigen Schwingungen, in die man die Bewegung zerlegen kann, hervorgeht. Die Theorien der Akustik sind somit Erklärungen.

Die Erklärung, die die Theorien der Akustik von den experimentellen Gesetzen, die die Tonempfindungen beherrschen, geben, ist wohl sicher richtig. Die Bewegungen, denen sie diese Erscheinungen zuschreiben, können in einer großen Zahl von Fällen mit den Augen gesehen, mit den Fingern getastet werden.

Meistens kann eine physikalische Theorie keinen solchen Grad von Vollkommenheit erreichen, sie kann nicht als sichere Erklärung der Sinneswahrnehmungen gelten, sie kann die Wirklichkeit, die nach ihrer Behauptung unter den Erscheinungen besteht, unseren Sinnen nicht zugänglich machen. Sie begnügt sich dann darzutun, daß alle unsere Wahrnehmungen so auftreten, wie wenn die Wirklichkeit so beschaffen wäre, wie sie es behauptet. Eine solche Theorie ist eine hypothetische Erklärung.

Betrachten wir z. B. die Gesamtheit der vom Gesichtssinn wahrgenommenen Phänomene. Die wissenschaftliche Verarbeitung dieser Phänomene führt uns zur Feststellung gewisser abstrakter allgemeiner Begriffe, die die Merkmale ausdrücken, welche wir in jeder Lichtwahrnehmung wiederfinden: einfache oder zusammengesetzte Farbe, Helligkeit usw. Die experimentellen Gesetze der Optik lehren uns feste Beziehungen zwischen diesen allgemeinen abstrakten Begriffen und andern analogen Begriffen kennen. Zum Beispiel zeigt ein Gesetz, wie die Intensität des gelben Lichtes, welches von

einem dünnen Blättchen reflektiert wird, von der Dicke dieses Blättchens und dem Einfallswinkel der auffallenden Strahlen abhängig ist.

Die Wellentheorie des Lichtes gibt eine hypothetische Erklärung dieser experimentellen Gesetze. Sie setzt voraus, daß alle Körper, die wir sehen, die wir tasten, die wir wägen, sich in einem unseren Sinnen unzugänglichen und unwägbaren Medium, das sie Äther nennt, befindet. Diesem Äther schreibt sie mechanische Eigenschaften zu, sie nimmt an, daß alles einfache Licht in kleinen und schnellen transversalen Schwingungen dieses Äthers besteht, daß von der Frequenz und der Amplitude dieser Schwingungen die Helligkeit und Farbe des Lichtes abhängig ist.

Trotzdem sie uns den Äther nicht sichtbar machen kann, trotzdem sie uns nicht einmal in den Stand setzt, durch Augenschein die Hin- und Herbewegung in der Lichtschwingung zu konstatieren, behauptet sie doch, daß ihre Postulate zu Ergebnissen führen, die in jedem Punkt mit den Gesetzmäßigkeiten, welche uns die experimentelle Optik angibt, übereinstimmen.

§ 2. — Auf Grund der vorstehenden Ansicht sind die physikalischen Theorien der Metaphysik untergeordnet.

Soll eine physikalische Theorie eine Erklärung sein, so hat sie ihr Ziel erst erreicht, wenn sie jede Sinneswahrnehmung ausgeschaltet und die physische Realität erfaßt hat. So haben uns z. B. die Untersuchungen Newtons über die Lichtdispersion gelehrt, die Empfindung, die Licht von der Art, wie es die Sonne aussendet, in uns hervorruft, zu zerlegen. Sie haben uns gelehrt, daß dieses Licht zusammengesetzt sei, daß es sich in eine gewisse Anzahl einfacherer Lichtarten von bestimmter und unveränderlicher Farbe auflösen läßt. Aber dieses einfache oder monochromatische Licht ist noch eine abstrakte und allgemeine Vorstellung einer bestimmten Empfindung, es ist noch eine sinnlich wahrnehmbare Erscheinung. Wir haben eine kompliziertere Erscheinung in andere einfachere zerlegt, wir sind aber nicht bis zur Wirk-

lichkeit gelangt, wir haben keine Erklärung der Farbeneffekte gegeben, wir haben keine Lichttheorie konstruiert.

Somit muß man, um beurteilen zu können, ob eine gewisse Gruppe von Lehrsätzen den Titel einer physikalischen Theorie verdient, prüfen, ob die Begriffe, die durch diese Lehrsätze in Verbindung gebracht werden, in abstrakter und allgemeiner Form die Elemente, aus denen die materiellen Dinge wirklich bestehen, ausdrücken, oder aber, ob diese Begriffe nur das allgemeine und charakteristische unserer Wahrnehmungen darstellen.

Wenn eine solche Prüfung einen Sinn haben soll, wenn man sich vornehmen will, sie auszuführen, muß man vor allem folgende Behauptung als richtig anerkennen: Unter den sinnlichen Erscheinungen, welche sich unseren Wahrnehmungen kundgeben, gibt es eine Wirklichkeit, die sich von diesen Erscheinungen unterscheidet.

Hat man diesem Satze zugestimmt — und nur wenn dieses geschieht, ist das Forschen nach einer physikalischen Erklärung verständlich — so muß man, um erkennen zu können, daß man tatsächlich zu einer solchen Erklärung gelangt ist, folgende weitere Frage beantworten: Welcher Art sind die Grundbestandteile, die die materielle Wirklichkeit bilden?

Bei den zwei Fragen:

Gibt es eine materielle Realität, die sich von den Sinneserscheinungen unterscheidet?

Welches ist diese Realität?

kann man nicht die Experimentaluntersuchung zu Rate ziehen. Diese kennt nichts außer den Sinneserscheinungen und kann nichts, was über diese hinausgeht, entdecken. Die Lösung dieser Fragen geht über die auf Beobachtung beruhenden Methoden, deren sich die Physik bedient, hinaus, sie ist Gegenstand der Metaphysik.

Wenn somit die physikalischen Theorien die Erklärung der experimentellen Gesetze zum Gegenstand haben, ist die theoretische Physik keine autonome Wissenschaft, sondern der Metaphysik untergeordnet.

§ 3. — Auf Grund der vorstehenden Ansicht hängt der Wert einer physikalischen Theorie vom metaphysischen System, das man anerkennt, ab.

Die Lehrsätze der rein mathematischen Wissenschaften sind im höchsten Maße Wahrheiten, die allgemeine Anerkennung finden; die Schärfe der Ausdrucksweise, die Genauigkeit der Beweisführung verhindern, daß Differenzen in den Ansichten der Mathematiker bestehen bleiben. Durch die Jahrhunderte entfalten sich die Lehren in kontinuierlichem Fortschritt, ohne daß etwa früher erworbene Gebiete durch neue Errungenschaften in Verlust gerieten.

Es gibt keinen Denker, der nicht der Wissenschaft, in der er tätig ist, einen so regelmäßigen und ungestörten Gang wünschen würde, wie ihn die Mathematik aufweist, wenn es aber eine Wissenschaft gibt, für die dieser Wunsch besonders berechtigt erscheint, ist es die theoretische Physik, weil sie unter allen Zweigen der Wissenschaften sich zweifellos am wenigsten von der Algebra und Geometrie entfernt.

Es ist nun nicht das richtige Mittel, der physikalischen Theorie allgemeine Anerkennung zu verschaffen, wenn man sie in Abhängigkeit von der Metaphysik bringt. In der Tat könnte kein Philosoph, wie viel Vertrauen er auch zu den Methoden, die bei Behandlung der metaphysischen Probleme zur Anwendung kommen, haben möge, die tatsächliche Wahrheit bestreiten, daß, wenn man alle Gebiete, in denen der menschliche Geist sich betätigt, Revue passieren läßt, in keinem derselben sie in verschiedenen Epochen entstandenen Systeme, ebenso wie die Systeme verschiedener Schulen derselben Zeit, sich tiefgreifender unterscheiden, sich strenger abgrenzen, sich heftiger bekämpfen als auf dem Gebiete der Metaphysik.

Wenn die Physik der Metaphysik untergeordnet ist, werden die Zwistigkeiten, die zwischen den verschiedenen metaphysischen Systemen bestehen, sich in das Gebiet der Physik verpflanzen. Eine physikalische Theorie, die die Zufriedenheit aller Sektierer einer metaphysischen Schule erregt, wird von den Anhängern einer anderen Schule verworfen werden.

Betrachten wir z. B. die Wirkungen, die der Magnet auf das Eisen ausübt, und nehmen wir einen Augenblick an, wir seien Peripatetiker.

Was lehrt uns die Metaphysik des Aristoteles über die wahre Natur der Körper? Jede Substanz und speziell jede materielle Substanz geht aus der Vereinigung zweier Elemente, eines bleibenden, des Stoffes, und eines veränderlichen, der Form, hervor. Durch Unveränderlichkeit seines Stoffes bleibt das Stück Eisen, das ich betrachte, immer unter allen Umständen dasselbe Stück Eisen; durch die Veränderungen, die seine Form erleidet, können die Eigenschaften dieses selben Stückes Eisen den Umständen entsprechend wechseln. Es kann fest oder flüssig, warm oder kalt sein, die oder jene Gestalt annehmen.

Wird dieses Stück Eisen in den Bereich eines Magneten gebracht, so erfährt es in seiner Form eine spezielle Änderung, die um so intensiver ist, je näher sich der Magnet befindet. Diese Änderung bezieht sich auf das Auftreten der beiden Pole, sie ist für das Eisenstück ein Bewegungsprinzip. Das Wesen dieses Prinzips ist ein solches, daß jeder Pol sich dem Pol des Magneten mit entgegengesetztem Vorzeichen zu nähern, sich von dem gleichbezeichneten zu entfernen sucht.

Die Wirklichkeit, die sich unter den magnetischen Erscheinungen verbirgt, ist für einen peripatetischen Philosophen so beschaffen, daß man eine vollständige Erklärung geben würde, wenn man alle jene Erscheinungen so weit analysiert hätte, bis sie auf die Eigenschaften der magnetischen Qualität und deren beider Pole zurückgeführt wären. Man hätte damit eine vollständig befriedigende Theorie formuliert. Eine solche Theorie wurde tatsächlich im Jahre 1629 von Nikolaus Cabeo[1] in seiner merkwürdigen „magnetischen Philosophie" aufgestellt.

---

[1]) Philosophia magnetica, in qua magnetis natura penitus explicatur et omnium quae hoc lapide cernuntur causae propriae afferuntur, multa quoque dicuntur de electricis et aliis attractionibus, et eorum causis; auctore Nicolao Cabeo Ferrariensi, Societ. Jesu; Coloniae, apud Joannem Kinckium, anno MDCXXIX.

Ein Peripatetiker könnte sich mit einer Theorie, wie sie Pater Cabeo entworfen hat, zufrieden geben, bei einem Philosophen der Newtonschen Schule, der der Kosmologie des Pater Boscovich treu bleibt, wäre dies aber nicht mehr der Fall.

Gemäß der Naturphilosophie, die Boscovich[1]) aus den Prinzipien Newtons und seiner Schüler entwickelt hat, heißt es nichts erklären, wenn man die Gesetze der Anziehungen, die der Magnet auf das Eisen ausübt, durch eine magnetische Änderung der substantiellen Form des Eisens erklärt; es heißt geradezu unsere Unkenntnis der Wirklichkeit unter Worten verstecken, die um so besser tönen, je hohler sie sind.

Die materielle Substanz setzt sich nicht aus Stoff und Form zusammen, sondern sie geht aus einer unendlichen Zahl von Punkten, denen Ausdehnung und Gestalt fehlt, die aber mit Masse behaftet sind, hervor; zwischen je zwei beliebigen dieser Punkte besteht eine gegenseitige Wirkung der Anziehung oder Abstoßung, die dem Produkte der Massen der beiden Punkte proportional und eine gewisse Funktion ihres Abstandes ist. Unter diesen Punkten gibt es solche, die die Körper im eigentlichen Sinne bilden; zwischen diesen Punkten besteht eine gegenseitige Wirkung; sobald ihr Abstand eine gewisse Grenze überschreitet, reduziert sich diese Wirkung auf die von Newton erforschte allgemeine Gravitation. Andere derselben, die mit dieser Gravitationswirkung nicht versehen sind, bilden imponderable Fluida, wie das elektrische Fluidum oder das Wärmefluidum. Entsprechende Annahmen über die Massen aller dieser materiellen Punkte, über ihre Verteilung, über die Art der Funktionen des Abstandes, von denen ihre gegenseitigen Wirkungen abhängen, sollen von allen physikalischen Erscheinungen Rechenschaft geben.

Um zum Beispiel die magnetischen Wirkungen zu erklären, nimmt man an, daß jedes Molekül des Eisens gleiche Mengen des süd- und nordmagnetischem Fluidums besitzt und

[1]) Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium, auctore P. Rogerio Josepho Boscovich, Societatis Jesu, Viennae, MDCCLVIII.

daß die Verteilung des Fluidums auf diesem Molekül den Gesetzen der Mechanik entspricht. Die Wirkung, die die beiden magnetischen Massen aufeinander ausüben, ist direkt dem Produkt dieser Massen und indirekt dem Quadrat ihres Abstandes proportional. Die Wirkung ist eine abstoßende oder anziehende je nachdem, ob die beiden Massen von gleicher oder ungleicher Art sind. Das ist das Wesen der Theorie des Magnetismus, die von Franklin, Oepinus, Tobias Mayer und Coulomb inauguriert wurde und ihre weiteste Entfaltung in den klassischen Abhandlungen Poissons gefunden hat.

Gibt diese Theorie eine Erklärung der magnetischen Erscheinungen, die einen Atomisten zufrieden stellen könnte? Sicher nicht. Sie anerkennt die Existenz anziehender oder abstoßender Wirkungen zwischen den voneinander entfernten Teilchen der magnetischen Flüssigkeit. Für einen Atomisten sind nun derartige Wirkungen Erscheinungen, die nicht als Realitäten aufgefaßt werden können.

Gemäß den atomistischen Lehren setzt sich die Materie aus äußerst kleinen Körpern zusammen, die hart und starr sind, verschiedene Form haben, und in ungeheurer Zahl im leeren Raume verteilt sind. Wenn zwei solche Teilchen voneinander getrennt sind, können sie sich in keiner Weise beeinflussen. Nur wenn das eine mit dem anderen in Berührung kommt, wenn sie, die beide undurchdringlich sind, aufeinanderstoßen, werden ihre Geschwindigkeiten geändert und zwar nach festen Gesetzen. Die Größen, Gestalten und Massen der Atome, und die Normen, die bei ihren Stößen zur Geltung kommen, sollen die einzig befriedigende Erklärung sein, welche physikalische Gesetze erhalten können.

Um die Erklärung der verschiedenen Bewegungen, die ein Stück Eisen in Gegenwart eines Magneten erfährt, möglich zu machen, wird man sich vorstellen müssen, daß Ströme von magnetischen Teilchen, die zwar dicht, dabei aber weder sichtbar noch tastbar sind, aus dem Magneten hervorgehen oder in ihn eindringen. Bei ihrer rapiden Fortbewegung stoßen diese Teilchen verschiedentlich auf die Moleküle des Eisens, und diese Stöße bewirken die Drucke, die eine oberflächliche

Philosophie magnetischen Anziehungen und Abstoßungen zuschrieb. Das ist das Prinzip einer Theorie der Magnetisierung, die bereits Lucretius entworfen hatte und die im 17. Jahrhundert von Gassendi entwickelt und seit dieser Zeit oft wieder aufgenommen worden ist.

Werden nicht manche anspruchsvolle Denker dieser Theorie vorwerfen, daß sie nichts erklärt und die Erscheinungen als Realitäten nimmt? Das tun die Cartesianer.

Nach Descartes ist die Materie dem Wesen nach mit der Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe, die die Geometer behandeln, identisch. Man darf nichts anderes als verschiedene Gestalten und verschiedene Bewegungen in Betracht ziehen. Die cartesische Materie ist, wenn man so sagen will, eine Art ungeheures Fluidum, das inkompressibel und absolut homogen ist. Die harten und unteilbaren Atome, der leere Raum, der sie trennt, sind nur Erscheinungen, sind nur Illusionen. Gewisse Teile des allgemeinen Fluidums können von dauernden Wirbelbewegungen erfüllt sein, diese Wirbel werden den groben Augen der Atomisten als unteilbare Teilchen erscheinen. Von einem Wirbel zum anderen werden durch das dazwischen befindliche Fluidum Drucke übertragen, die die Anhänger Newtons infolge einer unzureichenden Analyse für Fernewirkungen halten. Das sind die Prinzipien einer Physik, deren ersten Entwurf Descartes schuf, die Malebranche tiefer erforscht hat, der W. Thomson, gestützt auf die hydrodynamischen Untersuchungen von Cauchy und Helmholtz, den Umfang und die Präzision, gegeben hat, die die mathematischen Systeme heute besitzen.

Diese cartesianische Physik wäre nicht vollkommen ohne eine Theorie des Magnetismus. Schon Descartes hat versucht eine solche zu schaffen. Die Spiralen aus feiner Materie, welche in dieser Theorie nicht ohne eine gewisse Naivität die magnetischen Teilchen von Gassendi ersetzten, haben bei den Cartesianern des XIX. Jahrhunderts, den mit weit größerer Gelehrsamkeit erdachten Wirbeln Maxwells Platz gemacht.

So sehen wir jede philosophische Schule eine Theorie predigen, welche die magnetischen Erscheinungen auf die Ele-

mente zurückführt, die das Wesen der Materie bilden. Aber die anderen Schulen verwerfen diese Theorie oder werden wenigstens durch ihre Prinzipien verhindert, in ihr eine befriedigende Erklärung des Magnetismus zu finden.

§ 4. — Der Streit über die verborgenen Ursachen.

Sehr häufig nehmen die Vorwürfe, die eine kosmologische Schule gegen die andere richtet, die Form an, daß die eine die andere der Berufung auf verborgene Ursachen anklagt.

Die großen kosmologischen Schulen — die peripatetische, die Newtonsche, die atomistische und die cartesianische — können in eine solche Reihenfolge gebracht werden, daß jede derselben der Materie eine kleinere Zahl wesentlicher Eigenschaften zubilligt, als es die in der Reihe folgenden tun.

Die peripatetische Schule setzt die Substanz der Körper nur aus zwei Elementen, dem Stoff und der Form, zusammen. Aber diese Form kann Eigenschaften annehmen, deren Zahl ohne Grenzen ist. So kann jede physikalische Eigenschaft einer besonderen Qualität zugeschrieben werden, sie kennt wahrnehmbare Eigenschaften, die direkt unseren Sinnen zugänglich sind, wie die Schwere, die Dichte, das Flüssigsein, die Wärme, das Licht und verborgene Eigenschaften, die ihre Wirkungen unseren Sinnen nur in indirekter Weise kundgeben, wie die Magnetisierung oder die Elektrisierung.

Die Anhänger Newtons verwerfen diese unendliche Mannigfaltigkeit von Eigenschaften, um in einem hohen Grad den Begriff der materiellen Substanz zu vereinfachen. Als Elemente der Materie lassen sie einzig Massen, gegenseitige Wirkungen und Gestalten bestehen, wenn sie nicht wie Boscovich und mehrerer seiner Nachfolger so weit gehen, dieselben auf Punkte ohne Ausdehnung zu reduzieren.

Noch weiter geht die atomistische Schule. Nach ihr behalten die materiellen Elemente Masse, Gestalt und Härte, aber die Kräfte, durch welche sie sich gemäß der Newtonschen Schule gegenseitig beeinflussen, verschwinden aus dem Reiche

der Wirklichkeit, sie werden nur als Erscheinungen und Fiktionen betrachtet.

Die Cartesianer endlich treiben die Tendenz, die materielle Substanz der verschiedenen Eigenschaften zu berauben, auf die Spitze. Sie verwerfen die Härte der Atome, sie verwerfen selbst die Unterscheidung des erfüllten vom leeren Raume, um die Materie nach einem Wort von Leibniz[1]) mit „der Ausdehnung und ihrer bloßen Änderung" zu identifizieren.

So läßt jede kosmologische Schule in ihren Erklärungen gewisse Eigenschaften der Materie zu, welchen die folgende Schule die Anerkennung als Realitäten verweigert, die sie bloß als Worte betrachtet, die die viel tiefer liegenden Realitäten anzeigen ohne sie aufzudecken, die sie mit einem Wort zu den verborgenen Ursachen rechnet, die die Scholastik im Überfluß geschaffen hat.

Es ist kaum nötig daran zu erinnern, daß alle anderen kosmologischen Schulen es verstanden haben, der peripatetischen ihr Arsenal von Eigenschaften vorzuwerfen, welches sie in der substantiellen Form unterbringt, ein Arsenal, das jedesmal, wenn es sich darum handelte, ein neues Phänomen zu erklären, durch eine neue Eigenschaft bereichert wurde. Aber die peripatetische Physik war keineswegs die einzige, die solche Vorwürfe zu ertragen hatte.

Die in der Entfernung bewirkten Anziehungen und Abstoßungen, die die Anhänger Newtons den materiellen Elementen zuschreiben, halten die Atomisten und Cartesianer für eine jener bloßen Worterklärungen, wie sie in der alten Scholastik üblich waren. Die „Prinzipien" Newtons hatten noch kaum das Tageslicht erblickt, als sie bereits die Spöttereien des atomistischen Clans, der sich um Huygens scharte, erregten: „Was die Ursache von Ebbe und Flut betrifft, die Herr Newton angibt", schrieb Huygens an Leibniz[2]), „so gebe ich mich damit absolut nicht zufrieden, ebensowenig wie mit

[1]) Leibniz: Oeuvres, édition Gerhardt, t. IV. p. 464.

[2]) Huygens à Leibniz, 18. novembre 1690 (Oeuvres complètes de Huygens, t. IX. p. 528.)

seinen andern Theorien, die er auf sein Anziehungsprinzip, das mir absurd erscheint, stützt".

Wenn Descartes in jener Epoche gelebt hätte, würde er in analoger Weise gesprochen haben, wie Huygens. In der Tat hat Pater Mersenne ihm ein Werk von Roberval[1]) vorgelegt, in dem dieser Autor lange vor Newton eine allgemeine Gravitation annahm. Am 20. April 1646 drückte Descartes seine Meinung darüber folgendermaßen aus:[2])

„Nichts ist absurder als die dem vorangehenden hinzugefügte Annahme: der Autor nimmt an, daß eine gewisse Eigenschaft jedem einzelnen Teil der Materie der Welt zukommt, und daß kraft dieser Eigenschaft der eine zum andern gebracht wird und sie sich gegenseitig anziehen; er nimmt auch an, daß eine gleiche Eigenschaft jedem Teil der Erde in Beziehung zu den andern Teilen der Erde zukommt, und daß diese Eigenschaft keineswegs die vorherige stört. Um das zu begreifen, muß man nicht nur annehmen, daß jedes der materiellen Teilchen belebt ist und sogar von einer großen Zahl von verschiedenen Seelen, die einander nicht stören, belebt ist, sondern auch daß diese Seelen der materiellen Partikeln mit Bewußtsein begabt sind, daß sie wahrhaftig göttlich sind, damit sie ohne ein Zwischenmedium erkennen können, was an sehr entfernten Orten geschieht und so dort ihre Wirkungen ausüben können."

Die Cartesianer stimmen soweit mit den Atomisten überein, wenn es sich darum handelt, die Fernewirkung, auf welche sich die Anhänger Newtons in ihren Theorien berufen, als verborgene Ursache zu verdammen. Aber die Cartesianer wenden sich sofort auch gegen die Atomisten und verurteilen mit derselben Strenge die Härte und Unteilbarkeit, welche

[1]) Aristarchi Samii De mundi systemate, partibus et motibus ejusdem, liber singularis; Parisiis 1643. — Dieses Werk wurde 1647 in dem Band III der Cogitata physico-mathematica von Mersenne reproduziert.

[2]) Descartes: Correspondance, édition P. Tannery et Ch. Adam n° CLXXX t. IV. p. 396.

diese ihren Partikeln zuschreiben. „Eine andere Sache, welche mir mißfällt", schreibt[1]) der Cartesianer Denis Papin an den Atomisten Huygens, „ist . . . ., daß Sie die vollkommene Härte zum eigentlichen Wesen der Körper rechnen. Es scheint mir, daß man damit eine inhärierende Qualität voraussetzt, die uns von den mathematischen oder mechanischen Prinzipien entfernt." Der Atomist Huygens beurteilte allerdings nicht weniger streng die cartesianische Meinung: „Die andere Schwierigkeit, die Sie erheben", antwortete er Papin,[2]) „ist, daß ich annehme, daß die Härte zum eigentlichen Wesen der Körper gehört, anstatt mit Herrn Descartes nur ihre Ausdehnung hierzu zu rechnen. Daraus sehe ich, daß Sie sich noch nicht von dieser Meinung befreit haben, die ich seit langem als ganz absurd betrachte."

Es ist nun wohl klar, daß wenn man die theoretische Physik in Abhängigkeit von der Metaphysik bringt, man nicht dazu beiträgt, ihr den Vorteil der allgemeinen Anerkennung zu sichern.

§ 5. — Kein metaphysisches System reicht für den Aufbau einer physikalischen Theorie aus.

Jede metaphysische Schule wirft ihren Rivalen vor, daß sie in ihren Erklärungen zu Begriffen greifen, die selbst unerklärt, die wirklich verborgenen Qualitäten seien. Könnte sie nicht beinahe immer diesen Vorwurf an sich selbst richten?

Damit die Philosophen, welche einer gewissen Schule angehören, vollständig mit einer von den Physikern derselben Schule ausgebauten Theorie zufrieden sind, müssen alle Prinzipien, welche in dieser Theorie angewendet werden, aus der Metaphysik abgeleitet worden sein, zu welcher sich diese Schule bekennt. Wenn man sich im Verlaufe der Erklärung eines physikalischen Phänomens auf irgend ein Gesetz be-

[1]) Denis Papin à Christiaan Huygens, 18. Juni 1690. (Oeuvres complètes de Huygens t. IX. p. 429.)

[2]) Christiaan Huygens à Denis Papin, 2. September 1690. (Oeuvres complètes de Huygens t. IX. p. 484.)

rufen hat, welches diese Metaphysik nicht beweisen kann, ist die Erklärung nicht gelungen, hat die physikalische Theorie ihr Ziel nicht erreicht.

Keine Metaphysik gibt nun so scharfe und so detaillierte Anweisungen, daß es möglich wäre, aus ihnen die Elemente einer physikalischen Theorie abzuleiten.

In der Tat bestehen die Anweisungen, die eine metaphysische Lehre in betreff der wahren Natur der Körper gibt, meistens aus Negationen. Die Peripatetiker, und auch die Cartesianer leugnen die Möglichkeit eines leeren Raumes. Die Anhänger Newtons verwerfen jede Eigenschaft, welche sich nicht auf eine Kraft, die zwischen materiellen Punkten besteht, zurückführen läßt. Die Atomisten und Cartesianer leugnen jede Fernewirkung. Die Cartesianer anerkennen keinen anderen Unterschied zwischen den verschiedenen Teilen der Materie als den der Gestalt und Bewegung.

Alle diese Negationen liefern gute Argumente, wenn man eine von einer gegnerischen Schule stammende Theorie verdammen will, sie bleiben aber merkwürdig unfruchtbar, wenn man aus ihnen die Prinzipien einer physikalischen Theorie abzuleiten wünscht.

Descartes zum Beispiel leugnet, daß die Materie ein anderes Merkmal besitze als die Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe und deren verschiedene Formen, d. h. keine anderen als Gestalten und Bewegungen. Wenn aber diese Größen allein gegeben sind, kann er die Erklärung eines physikalischen Gesetzes nicht einmal beginnen.

Zum allermindesten müßte er, bevor er den Aufbau irgend einer Theorie versucht, die allgemeinen Regeln kennen, welche bei den verschiedenen Bewegungen zur Geltung kommen. Doch er geht sogleich daran, aus seinen metaphysischen Prinzipien eine Dynamik abzuleiten.

Die Vollkommenheit Gottes erfordert, daß sein Wille unwandelbar sei; aus dieser Unwandelbarkeit ergibt sich die Konsequenz: Gott erhält die Menge der Bewegung in der Welt, welche er ihr am Anfang gegeben hat, unveränderlich.

Aber diese Konstanz der Bewegungsmenge in der Welt

ist noch kein Prinzip, welches genügend scharf und genügend definiert ist, um auch nur eine Gleichung der Dynamik aufschreiben zu können.

Es muß von uns quantitativ formuliert werden, was dadurch geschieht, daß der in den bisherigen Entwicklungen enthaltene allzu vage Begriff der Bewegungsmenge in einen vollständig bestimmten algebraischen Ausdruck übersetzt wird.

Welcher mathematische Sinn wird also vom Physiker dem Worte Bewegungsmenge zugeschrieben?

Nach Descartes würde die Bewegungsmenge jedes materiellen Teilchens das Produkt aus seiner Masse — oder aus seinem Volumen, das in der cartesischen Physik mit der Masse identisch ist — in die Geschwindigkeit, die es besitzt, sein. Die Bewegungsmenge der ganzen Materie würde die Summe der Bewegungsmengen der einzelnen Teile sein. Diese Summe wird bei jeder physikalischen Änderung einen unveränderlichen Wert behalten.

Die Kombination von algebraischen Größen, durch die Descartes den Begriff Bewegungsmenge auszudrücken sucht, entspricht sicherlich den Erwartungen, die unsere instinktiven Kenntnisse von vornherein in bezug auf einen solchen Ausdruck hegten. Er ist null für ein unbewegliches System, dagegen immer positiv für eine Gruppe von Körpern, die sich in Bewegung befinden. Sein Wert wächst, wenn eine gegebene Masse ihre Geschwindigkeit erhöht, und ebenso steigt er, wenn man die Masse vergrößert, die eine gewisse Geschwindigkeit besitzt. Aber eine Unzahl anderer Ausdrücke hätten ebensogut diesen Bedingungen genügt. An Stelle der Geschwindigkeit hätte man bekanntlich auch das Quadrat der Geschwindigkeit setzen können. Man würde dann einen algebraischen Ausdruck erhalten, der mit dem übereinstimmt, den Leibniz als lebendige Kraft bezeichnet. Anstatt die Konstanz der cartesischen Bewegungsmenge hätte man aus der Unwandelbarkeit Gottes auch die Konstanz der Leibnizschen lebendigen Kraft ableiten können.

Ohne Zweifel stimmt also das Gesetz, das Descartes als

Grundlage der Dynamik festzusetzen sucht, mit der cartesischen Metaphysik überein. Aber es ist keine notwendige Folge derselben. Wenn also Descartes zeigt, daß gewisse physikalische Erscheinungen nur Folgen eines solchen Gesetzes sind, so beweist er allerdings, daß diese Erscheinungen zu den Prinzipien seiner Philosophie nicht in Widerspruch stehen, aber er erklärt sie nicht aus seinen Prinzipien.

Was wir eben vom Cartesianismus gesagt haben, kann man bezüglich einer jeden metaphysischen Lehre wiederholen, welche beansprucht, als Grundlage einer physikalischen Theorie betrachtet zu werden. Stets sind in einer solchen Theorie gewisse Annahmen getroffen, die keineswegs die Prinzipien der metaphysischen Lehre zur Grundlage haben. Die Anhänger von Boscovich nehmen an, daß alle Anziehungen oder Abstoßungen, die in wahrnehmbarer Entfernung erfolgen, umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sind. Diese Annahme ermöglicht ihnen eine Mechanik des Himmels, eine Mechanik der Elektrizität, eine Mechanik des Magnetismus auszubilden. Aber diese Form des Gesetzes ist ihnen durch den Wunsch diktiert, ihre Erklärungen mit den Tatsachen in Übereinstimmung zu bringen, sie ist nicht eine notwendige Folge ihrer Philosophie. Die Atomisten nehmen an, daß die Stöße der Atome einem gewissen Gesetz folgen. Aber dieses Gesetz leitet man nicht aus der epikuräischen Philosophie ab, sondern es ist eine merkwürdig kühne Erweiterung eines anderen Gesetzes auf die Welt der Atome, eines Gesetzes, welches man nur an Massen studieren kann, die genügend groß sind, um unseren Sinnen wahrnehmbar zu sein.

Es ist somit unmöglich, aus einem metaphysischen System alle diejenigen Elemente abzuleiten, die nötig sind, um eine physikalische Theorie zu schaffen. Eine solche macht stets von Annahmen Gebrauch, welche durch das System nicht gegeben sind und infolgedessen für die Anhänger desselben Mysterien bleiben. Stets liegt Unerklärtes den Erklärungen zu Grunde, die das System zu geben behauptet.

Zweites Kapitel.

Physikalische Theorie und naturgemäße Klassifikation.

§ 1. — Die wahre Natur der physikalischen Theorie und die Operationen, durch die sie zustande kommt.

Wenn man eine physikalische Theorie als hypothetische Erklärung der materiellen Wirklichkeit betrachtet, bringt man sie in Abhängigkeit von der Metaphysik. Man gibt ihr damit eine Form, die keineswegs geeignet ist, ihr die Anerkennung der großen Mehrzahl der Denker zu verschaffen, man beschränkt im Gegenteil die Zustimmung auf jene, die sich zu der Philosophie bekennen, auf die sie sich beruft. Aber auch diese selbst fühlen sich von dieser Theorie nicht vollkommen befriedigt, denn sie leitet nicht alle ihre Prinzipien aus der metaphysischen Lehre ab, von der sie auszugehen behauptet.

Diese Gedanken, die den Gegenstand des vorhergehenden Kapitels bildeten, führen uns naturgemäß dazu, uns die folgenden zwei Fragen zu stellen:

Könnte man nicht das Ziel der physikalischen Theorie so bestimmen, daß sie selbständig würde? Wird sie auf Prinzipien gegründet, die nicht irgend einer metaphysischen Lehre entstammen, dann wird sie für sich beurteilt werden können, und die Meinungen der verschiedenen Physiker über sie werden in keiner Weise von den verschiedenen philosophischen Schulen abhängen, zu denen diese sich zählen mögen.

Könnte man nicht eine Methode ersinnen, die ausreichend wäre, um eine physikalische Theorie zu schaffen? Eine Theorie, die in Übereinstimmung mit ihrer eigenen Definition ist, wird kein Prinzip anwenden, wird auf keine Voraussetzung Bezug nehmen, von der sie nicht berechtigterweise Gebrauch machen kann.

Dieses Ziel und diese Methode wollen wir festsetzen und studieren:

Von jetzt an sei folgende Definition der physikalischen Theorie aufgestellt, die im Verlaufe unserer Ausführungen sich klären und deren ganzer Inhalt hervortreten wird:

Eine physikalische Theorie ist keine Erklärung.

Sie ist ein System mathematischer Lehrsätze, die aus einer kleinen Zahl von Prinzipien abgeleitet werden und den Zweck haben, eine zusammengehörige Gruppe experimenteller Gesetze ebenso einfach, wie vollständig und genau darzustellen.

Um diese Definition schon jetzt ein wenig zu präzisieren, charakterisieren wir die vier aufeinander folgenden Operationen, durch welche eine physikalische Theorie entsteht:

1. Unter den physikalischen Eigenschaften, die wir darstellen wollen, wählen wir diejenigen, die wir als einfache Eigenschaften betrachten, aus, während wir die anderen als Gruppen und Kombinationen jener auffassen. Wir ordnen ihnen, durch geeignete Meßmethoden, entsprechend viele mathematische Symbole, Zahlen, Größen zu. Diese mathematischen Symbole haben mit den Eigenschaften, die sie repräsentieren, von Natur aus keine Beziehung. Ihre einzige Beziehung ist die des Zeichens mit dem Bezeichneten. Durch die Meßmethoden kann man jedem Zustand einer physikalischen Eigenschaft einen Wert des repräsentierenden Symbols zuordnen und umgekehrt.

2. Wir verbinden die verschiedenen Arten derartig eingeführter Größen untereinander in einer kleineren Zahl von Gleichungen, die als Prinzipien für unsere Deduktionen dienen sollen. Diese Prinzipien können — im etymologischen Sinn des Wortes — als Hypothesen bezeichnet werden, denn sie sind wirklich die Grundlagen, auf denen sich die Theorie erhebt. Aber sie machen in keiner Weise den Anspruch, tatsächliche Beziehungen der realen Eigenschaften der Körper anzugeben. Diese Hypothesen können demnach in willkürlicher Weise formuliert werden. Der logische Widerspruch sowohl zwischen den Gliedern ein und derselben Hypothese als auch unter den verschiedenen Hypothesen derselben Theorie ist die einzige absolut unüberschreitbare Schranke, vor der diese Willkür Halt macht.

3. Die verschiedenen Prinzipien oder Hypothesen einer Theorie sind miteinander gemäß den Regeln der mathematischen Analysis verbunden. Die Erfordernisse der algebraischen Logik sind die einzigen, denen der Theoretiker beim Gange der Ableitung genügen muß. Die Größen, auf welchen seine Rechnungen

beruhen, erheben keineswegs den Anspruch, physische Realitäten zu sein, die Prinzipien, auf die er sich bei seinen Deduktionen stützt, geben sich keineswegs als der Ausdruck tatsächlicher Beziehungen zwischen solchen Realitäten aus. Es ist somit belanglos, ob die Operationen, welche er ausführt, realen oder auch nur begreifbaren physikalischen Veränderungen entsprechen oder nicht. Alles, was man rechtmäßig von ihm fordern darf, ist, daß seine Schlüsse zutreffend und seine Rechnungen richtig seien.

4. Die verschiedenen Konsequenzen, die man so aus den Hypothesen gefolgert hat, können in ebensoviele Aussagen über die physikalischen Eigenschaften der Körper übersetzt werden. Die Methoden, die diese physikalischen Eigenschaften zu definieren und zu messen gestatten, sind gleichsam ein Vokabularium, gleichsam ein Schlüssel, der diese Übersetzung ermöglicht. Diese Aussagen vergleicht man mit den experimentellen Gesetzen, die die Theorie darstellen soll. Wenn sie mit diesen Gesetzen in der Annäherung, wie es die angewendeten Meßmethoden zulassen, übereinstimmen, hat die Theorie ihr Ziel erreicht, sie wird als gut erklärt. Wenn dies nicht der Fall ist, so ist sie schlecht, sie muß geändert oder ganz verworfen werden.

Sonach ist als richtige Theorie nicht die anzusehen, die eine der Wirklichkeit entsprechende Erklärung der physikalischen Erscheinungen gibt, sondern die, die eine Gruppe experimenteller Gesetze befriedigend darstellt. Eine falsche Theorie ist nicht ein Erklärungsversuch, welcher auf Annahmen gegründet ist, die der Wirklichkeit widersprechen, sondern eine Gruppe von Gleichungen, welche nicht mit den experimentellen Gesetzen übereinstimmen. Die Übereinstimmung mit der Erfahrung ist das einzige Kriterium der Wahrheit für eine physikalische Theorie.

Die Definition, welche wir eben skizzierten, unterscheidet an einer physikalischen Theorie vier fundamentale Operationen:

1. Die Definition und das Maß der physikalischen Größen.
2. Die Wahl der Hypothesen.
3. Die mathematische Entwicklung der Theorie.
4. Die Vergleichung der Theorie mit dem Experiment.

Jede dieser Operationen wird uns in dieser Schrift lange beschäftigen, denn jede von ihnen bietet Schwierigkeiten, die die sorgfältigste Analyse erfordern. Es ist uns aber bereits jetzt möglich, einige Fragen zu beantworten, einige Entgegnungen zu widerlegen, welche durch die vorliegende Definition der physikalischen Theorie angeregt werden.

§ 2. — Welchen Nutzen hat eine physikalische Theorie? Die Theorie als Ökonomie des Denkens.

Und wozu kann nun eine solche Theorie dienen?

In betreff der wahren Natur der Dinge, in betreff der Realitäten, welche sich unter den Phänomenen, die wir studieren, verbergen, lehrt uns eine nach dem eben entwickelten Plane entworfene Theorie absolut nichts und beansprucht auch nicht diesbezüglich etwas zu lehren. Welchen Nutzen hat sie also? Welchen Vorteil finden die Physiker darin, die Gesetzmäßigkeiten, die uns das Experiment direkt liefert, durch ein System sie darstellender, mathematischer Lehrsätze, zu ersetzen?

Vor allem ersetzt die Theorie eine sehr große Zahl von Gesetzen, die uns als unabhängig voneinander gegenübertreten, deren jedes für sich gelernt und behalten werden müßte, durch eine ganz kleine Zahl von Sätzen, von grundlegenden Hypothesen. Kennt man einmal die Hypothesen, so ermöglicht eine vollkommen sichere mathematische Deduktion, die weder Lücke noch Wiederholung aufweist, alle physikalischen Gesetze wieder zu finden. Eine derartige Kondensation einer Menge von Gesetzen in eine kleine Zahl von Prinzipien ist eine ungeheure Erleichterung für den menschlichen Verstand, der ohne einen derartigen Kunstgriff die neuen Reichtümer, die er täglich erwirbt, nicht unterbringen könnte.

Die Reduktion der physikalischen Gesetze auf Theorien trägt indirekt zu der Ökonomie des Denkens bei, in der Herr E. Mach [1]) das Ziel, das Richtungsprinzip der Wissenschaft erblickt.

[1]) E. Mach, Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung (Populärwissenschaftliche Vorlesungen, III. Auflage, Leipzig 1903. XIII., p. 215). — Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1904. V. Aufl.. Kap. IV. Art. 4: Die Ökonomie der Wissenschaft, p. 521. [In der franz. Ausgabe Paris 1904, p. 449.]

Das experimentelle Gesetz repräsentierte bereits eine erste Ökonomie des Denkens. Der menschliche Geist hatte eine ungeheure Zahl von konkreten Tatsachen vor sich, deren jede in der Verwicklung vieler einander unähnlicher Details bestand. Kein Mensch könnte die Kenntnis aller dieser Tatsachen erlangen und behalten, keiner könnte sie seinen Mitmenschen mitteilen. Ist aber die Abstraktion ins Spiel getreten, so läßt sie das Eigenartige, Individuelle jeder dieser Tatsachen beiseite, sucht was an ihrer Gesamtheit allgemein und gemeinsam ist, und ersetzt so diese ungeheure Menge von Tatsachen durch einen einzigen Satz, der im Gedächtnis wenig Raum einnimmt und leicht im Unterricht mitteilbar ist. Die Abstraktion hat so ein physikalisches Gesetz formuliert.

„Statt z. B. die verschiedenen vorkommenden Fälle der Lichtbrechung uns einzeln zu merken, können wir alle vorkommenden sofort nachbilden oder vorbilden, wenn wir wissen, daß der einfallende, der gebrochene Strahl und das Lot in einer Ebene liegen und $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ ist. Wir haben dann statt der unzähligen Brechungsfälle bei verschiedenen Stoffkombinationen und Einfallswinkeln nur diese Anweisung und die Werte der n zu merken, was viel leichter angeht. Die ökonomische Tendenz ist hier unverkennbar."[1])

Die Ökonomie, die aus der Ersetzung der Einzeltatsachen durch Gesetze hervorgeht, verdoppelt der menschliche Geist, indem er die Gesetze in Theorien verdichtet. Was das Brechungsgesetz gegenüber den unzähligen Tatsachen der Brechung, bedeutet die optische Theorie gegenüber den endlos verschiedenen Gesetzen der Lichtphänomene.

Von den Lichtphänomenen hatten die Alten nur eine sehr kleine Zahl in Gesetzen zusammengefaßt. Die einzigen optischen Gesetze, die sie kannten, waren das der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und die der Reflexion. Dieser mäßige Bestand wurde in der Zeit von Descartes um das Brechungsgesetz vermehrt.

[1]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1904, V. Aufl., p. 526. [In der franz. Ausgabe Paris 1904, p. 453.]

Eine so eingeschränkte Optik konnte eine Theorie entbehren. Es war leicht jedes Gesetz für sich zu studieren und zu lehren.

Wäre es dagegen einem Physiker, der die moderne Optik studieren will, möglich, ohne Hilfe einer Theorie eine auch nur oberflächliche Kenntnis dieses ungeheuren Gebietes zu erlangen? Die Tatsachen der einfachen Brechung, der Doppelbrechung durch ein- oder zweiachsige Kristalle, der Reflexion an isotropen und kristallisierten Medien, der Interferenz, der Beugung, der Polarisation durch einfache oder doppelte Brechung, der Rotationspolarisation usw., alle diese großen Kategorien von Phänomenen ermöglichen die Formulierung einer Menge von Gesetzmäßigkeiten, deren Zahl und Verwicklung das aufnahmsfähigste und verläßlichste Gedächtnis erschrecken würde.

Die optische Theorie tritt hinzu, sie bemächtigt sich aller dieser Gesetze und verdichtet sie in eine kleine Zahl von Prinzipien. Aus diesen Prinzipien kann man jederzeit exakt und sicher das Gesetz, von dem man Gebrauch machen will, ableiten. Man braucht sich sodann nicht mehr alle diese Gesetze, sondern nur die Prinzipien, auf denen sie beruhen, zu merken.

Dieses Beispiel läßt uns auf das deutlichste den Weg erkennen, auf dem die physikalischen Wissenschaften vorwärts schreiten. Ununterbrochen bringt der Experimentator bisher nicht vermutete Tatsachen ans Tageslicht und formuliert neue Gesetze. Damit aber der menschliche Geist die Reichtümer beherbergen kann, ersinnt der Theoretiker ununterbrochen Darstellungsarten, die immer kondensierter, Systeme, die immer ökonomischer werden. Die Entwicklung der Physik bewirkt einen fortwährenden Kampf zwischen „der Natur, die nicht müde wird, Neues zu zeigen“ und dem Verstand, der „nicht müde werden will, zu begreifen“.

§ 3. — Die Auffassung der Theorie als Klassifikation.

Die Theorie besteht nicht nur in einer ökonomischen Darstellung der experimentellen Gesetze, sondern auch in einer Klassifikation derselben.

Die experimentelle Physik liefert uns alle Gesetze gemeinsam, sozusagen im gleichen Felde, ohne sie in Gruppen

von Gesetzen zu teilen, denen eine Art Verwandtschaft zukommt. Sehr oft sind es ganz zufällige Gründe, ganz oberflächliche Analogien, die die Beobachter dazu geführt haben, in ihren Veröffentlichungen ein Gesetz neben einem anderen zu behandeln. So hat Newton in dem gleichen Werke die Gesetze über die Dispersion des Lichtes beim Durchgang durch ein Prisma, und die Gesetze der Farben, die eine Seifenblase schmücken, behandelt, einfach deshalb, weil die Augen auf diese beiden Arten von Phänomenen durch auffallende Farben aufmerksam werden.

Im Gegensatz dazu stellt die Theorie bei der Entwicklung der zahlreichen Verzweigungen der deduktiven Schlußfolgerungen, welche die Prinzipien mit den experimentellen Gesetzen verbinden, unter letzteren eine Ordnung und Klassifikation her. Es gibt solche, die sie, eng aneinandergeschlossen, in derselben Gruppe vereinigt, wieder andere, die sie voneinander trennt und in zwei äußerst weit entfernten Gruppen unterbringt. Sie gibt sozusagen das Verzeichnis und die Titel der Kapitel an, in welche die zu studierende Wissenschaft methodisch zerfällt, und bestimmt die Gesetze, die in jedes dieser Kapitel eingeordnet werden sollen.

So setzt sie neben die Gesetze des durch ein Prisma hervorgerufenen Spektrums die Gesetze der Farben des Regenbogens. Die Gesetze aber, denen die Farben der Newtonschen Ringe unterliegen, bringt sie in ein ganz anderes Gebiet, indem sie sie mit den Gesetzen der von Young und Fresnel entdeckten Interferenzstreifen vereinigt. In einer anderen Klasse werden wieder die feinen, von Grimaldi untersuchten Farben in ihrer Verwandtschaft mit den von Fraunhofer hergestellten Beugungsspektren betrachtet. Die Gesetze aller dieser Phänomene, die ein einfacher Beobachter infolge ihrer auffallenden Farben untereinander mengt, werden durch die Bemühungen des Theoretikers klassifiziert und geordnet.

Klassifizierte Erkenntnisse sind leicht anwendbar und sicher zu gebrauchen. Aus kunstgerechten Werkzeugkästen, in denen die Instrumente, die demselben Zweck dienen, beieinander liegen, diejenigen aber, die verschiedene Aufgaben

haben, durch Scheidewände getrennt sind, nimmt der Arbeiter blitzschnell, ohne Zögern oder Ängstlichkeit, das Werkzeug, das er braucht. Dank der Theorie findet der Physiker mit Sicherheit, ohne Wesentliches außer acht zu lassen oder Überflüssiges anzuwenden, die Gesetze, die ihm zur Lösung eines gegebenen Problemes dienlich sein können.

Überall, wo Ordnung herrscht, herrscht auch Schönheit. Die Theorie bewirkt daher nicht nur, daß die Gruppe von physikalischen Gesetzen, die sie darstellt, leichter, bequemer und fruchtbringender anwendbar werden, sondern daß sie auch schöner wird.

Verfolgt man den Gang einer der großen Theorien der Physik, wie sie sich majestätisch entfaltet, wie aus den ersten Hypothesen ihre geordneten Deduktionen folgen, wie ihre Ergebnisse eine Fülle experimenteller Gesetze bis ins kleinste Detail darstellen, dann ist es ausgeschlossen, daß man nicht von der Schönheit eines solchen Baues hingerissen wird, daß man nicht eine solche Schöpfung des menschlichen Geistes als wahres Kunstwerk empfindet.

§ 4. — Die Theorie hat die Tendenz sich in eine naturgemäße Klassifikation umzuformen.[1]).

Dieses ästhetische Gefühl ist nicht das einzige Gefühl, welches eine Theorie, die einen hohen Grad der Vollkommenheit erreicht hat, hervorruft. Sie erweckt in uns auch die Überzeugung, daß sie als naturgemäße Klassifikation betrachtet werden müsse.

Was ist nun eine naturgemäße Klassifikation? Was will, zum Beispiel, ein Naturforscher sagen, wenn er eine naturgemäße Klassifikation der Wirbeltiere aufstellt?

Die Klassifikation, die er ersonnen hat, besteht in einem Zusammenhang geistiger Operationen. Sie behandelt nicht die konkreten Individuen, sondern Abstraktionen: die Arten. Diese

[1]) Wir haben bereits in dem Aufsatze „L'École anglaise et les théories physiques, art. 6." (Revue des questions scientifiques octobre 1903) die naturgemäße Klassifikation als die ideale Form, nach der die physikalische Theorie streben sollte, bezeichnet.

Arten teilt sie so in Gruppen, daß die speziellen sich den allgemeineren unterordnen. Um diese Gruppen zu bilden, betrachtet der Naturforscher die verschiedenen Organe, — die Wirbelsäule, den Schädel, das Herz, den Verdauungskanal, die Lunge, die Schwimmblase — nicht in der besonderen, konkreten, Form, die sie bei dem jeweiligen Individuum besitzen, sondern in abstrakter, allgemeiner, schematischer Form die allen Arten derselben Gruppe zukommt. Unter diesen derart durch die Abstraktion umgebildeten Organen stellt er Vergleiche an, sucht er Analogien und Verschiedenheiten festzustellen. So erklärt er zum Beispiel, daß die Schwimmblase der Fische mit der Lunge der Wirbeltiere gleichbedeutend sei. Dieses Gleichbedeutendsein ist eine rein ideelle Zusammenstellung, welche nicht auf den wirklichen Organen, sondern auf den verallgemeinerten und vereinfachten Vorstellungen, die sich im Geiste des Naturforschers gebildet haben, beruht. Die Klassifikation ist nur eine kurze Übersicht, welche alle diese Zusammenstellungen resumiert.

Wenn der Zoologe behauptet, daß eine derartige Klassifikation naturgemäß sei, meint er, daß die ideellen Verbindungen, die durch seinen Verstand zwischen den abstrakten Gedanken hergestellt wurden, realen Beziehungen zwischen den konkreten Wesen, in denen diese Abstraktionen Gestalt gewinnen, entsprechen. Er meint zum Beispiel, daß die mehr oder weniger auffallenden Ähnlichkeiten, die er zwischen verschiedenen Arten konstatiert hat, der Beweis einer mehr oder minder engen Verwandtschaft im eigentlichen Sinn unter den Individuen, die diese Gattung bilden, seien. Er meint, daß die Bindestriche, mit denen er die Abhängigkeitsverhältnisse der Klassen, Ordnungen, Familien und Arten versinnbildlicht, die Verzweigungen des Stammbaumes wiedergeben, der die Entwicklung der verschiedenen Wirbeltiere aus einem Stamm zur Darstellung bringt. Zu diesen Beziehungen der wirklichen Verwandtschaft, der Abstammung, kann die vergleichende Anatomie allein nicht gelangen, sie zu erfassen und zu bestätigen ist Aufgabe der Physiologie und Paläontologie. Der Anatom, der über die Ordnung, die sein Vergleichungsver-

fahren in die verwirrende Menge der Tiere bringt, nachsinnt, kann die Beziehungen, deren Prüfung über seine Methoden hinausgeht, nicht beweisen. Und wenn die Physiologie und Paläontologie ihm eines Tages zeigen würden, daß die Verwandtschaft, die er sich vorstellt, nicht bestehe, daß die Evolutionshypothese erdichtet sei, würde er dennoch fortfahren zu glauben, daß das System, das durch seine Klassifikation entstanden ist, wirkliche Beziehungen zwischen den Tieren darstellt. Er würde zugeben, daß er sich zwar über die Natur dieser Beziehungen getäuscht habe, nicht aber über deren Existenz.

Die Leichtigkeit, mit der eine jede Erfahrungstatsache in der vom Physiker geschaffenen Klassifikation untergebracht werden kann, die blendende Klarheit, die diese so vollkommen geordnete Gruppierung aufweist, wecken in uns die unbesiegbare Überzeugung, daß eine solche Klassifikation nicht rein künstlich, daß eine solche Ordnung nicht das Resultat einer rein willkürlichen Gruppierung sei, die ein erfinderischer Systematiker den Gesetzen gegeben hat. Ohne uns von unserer Überzeugung Rechenschaft geben, aber auch ohne uns von ihr befreien zu können, sehen wir in der exakten Ordnung dieses Systemes ein Zeichen, an dem eine *naturgemäße Klassifikation* erkennbar ist. Wenn wir auch nur die Gesetze der Phänomene gruppieren und nicht vorgeben, die unter ihnen verborgene Wirklichkeit zu erklären, so fühlen wir doch, daß die durch unsere Theorie hergestellten Gruppen den wirklichen Beziehungen zwischen den Dingen selbst entsprechen.

Der Physiker, der in jeder Theorie eine Erklärung sieht, ist überzeugt, daß er in der *Lichtschwingung* den eigentlichen und innersten Grund der Eigenschaft, die unsere Sinne uns als Licht und Farbe kundtun, gefunden hat. Er glaubt an einen Körper, den *Äther*, dessen einzelne Teile durch solche schnelle hin und her gehende Schwingungen belebt sind.

Sicherlich teilen wir nicht diese Illusionen. Wenn wir bei Gelegenheit einer optischen Theorie auch von der Licht-

schwingung sprechen, denken wir doch nicht an eine wahrhaftige hin und her gehende Bewegung eines wirklichen Körpers. Wir stellen uns nur eine abstrakte Größe, einen rein mathematischen Ausdruck vor. Die periodisch wechselnde Länge dient uns dazu, die Hypothesen der Optik zu formulieren, durch regelrechte Rechnungen die experimentell feststellbaren Gesetzmäßigkeiten des Lichtes abzuleiten. Diese Schwingung ist für uns ein Bild, aber keine Erklärung.

Aber wenn wir nach langen Versuchen mit Hilfe dieser Schwingung dazu gelangt sind, einen Grundstock fundamentaler Hypothesen zu formulieren, wenn wir sehen, daß sich in dem ungeheuren Gebiet der Optik, welches erst so verschlungen und verworren erscheint, auf Grund dieser Hypothesen Ordnung und Organisation einstellen, dann ist es uns unmöglich zu glauben, daß diese Ordnung und diese Organisation nicht das Bild einer wirklichen Ordnung und Organisation sei. Wir können nicht glauben, daß die Phänomene, die die Theorie zueinander in Nachbarschaft bringt, wie die Interferenzstreifen und die Farben dünner Blättchen nicht wirklich wenig verschiedene Kundgebungen des gleichen Merkmales des Lichtes seien, daß die Phänomene, die die Theorie trennt, wie die Beugungs- und die Dispersionsspektren, nicht wesentlich verschiedene Eigenschaften aufweisen.

So gibt uns die physikalische Theorie niemals die Erklärung der experimentellen Gesetzmäßigkeiten, niemals enthüllt sie uns die Realitäten, die sich hinter den wahrnehmbaren Erscheinungen verbergen. Aber je mehr sie sich vervollkommnet, um so mehr ahnen wir, daß die logische Ordnung, in der sie die Erfahrungstatsachen darstellt, der Reflex einer ontologischen Ordnung sei. Je mehr wir mutmaßen, daß die Beziehungen, welche sie zwischen den Beobachtungsergebnissen herstellt, den Beziehungen zwischen den Dingen entsprechen[1]), um so mehr können wir prophezeien, daß sie sich einer naturgemäßen Klassifikation nähere.

Diese Überzeugung könnte der Physiker nicht rechtfer-

[1]) vergl. Poincaré: La Science et l'Hypothèse, p. 190. Paris 1903.

tigen. Die Methode, die er verwendet, ist auf die Ergebnisse der Beobachtung beschränkt, sie kann daher nicht beweisen, daß die Ordnung der experimentellen Gesetze der Reflex einer über die Erfahrung hinausgehenden Ordnung sei und ebensowenig kann sie die Natur der wirklichen Beziehungen ahnen, denen die durch die Theorie aufgestellten Beziehungen entsprechen.

Aber wenn es dem Physiker unmöglich ist, seine Überzeugung zu verifizieren, so ist es ihm nicht minder unmöglich, ihr den Boden zu entziehen. Vergebens sucht er sich mit der Idee zu durchdringen, daß seine Theorien unvermögend seien, die Wirklichkeit zu erfassen, daß sie einzig dazu dienen, eine zusammengefaßte und klassifizierte Darstellung der Erfahrungstatsachen zu geben, er kann sich doch nicht zu dem Glauben zwingen, daß ein System, welches so einfach und so leicht eine ungeheure Zahl anfänglich so unvereinbarer Gesetzmäßigkeiten ordnen kann, rein künstlich sei. In einer Intuition, in der Pascal eines der Urteile des Herzens, „die die Vernunft nicht kennt", gesehen hätte, betont er seinen Glauben an eine wirkliche Ordnung, von der seine Theorien ein von Tag zu Tag klareres und treueres Bild geben.

Derart beweist uns die Analyse der Methoden, auf denen sich die physikalischen Theorien aufbauen, mit vollkommener Sicherheit, daß diese Theorien nicht als Erklärungen der experimentellen Gesetze auftreten können. Andererseits erfüllt uns ein wirklicher Glaube, den diese Analyse ebensowenig rechtfertigen wie bezähmen kann, daß diese Theorien nicht ein rein künstliches System, sondern eine naturgemäße Klassifikation seien. Man kann hier den tiefen Gedanken Pascals anwenden: „Wir haben eine Ohnmacht im Beweisen, die kein Dogmatismus überwinden kann, und eine Idee des Wahren, die allen Pyrrhonismus überwindet."

§ 5. — Die der Erfahrung vorangehende Theorie.

Es gibt einen Umstand, an dem sich mit besonderer Deutlichkeit unser Glaube an den natürlichen Charakter einer theoretischen Klassifikation zeigt. Dieser Umstand tritt auf, wenn

wir von der Theorie die Angabe der Resultate eines Experiments fordern, bevor dieses Experiment ausgeführt wurde, wenn wir ihr ausdrücklich den kühnen Befehl erteilen: „Prophezeie uns!"

Eine ansehnliche Gruppe experimenteller Gesetze wurde durch die Beobachter festgestellt. Der Theoretiker, der sich vorgenommen hatte, sie in einer ganz kleinen Zahl von Hypothesen zusammenzufassen, hat seine Aufgabe gelöst: Jedes dieser experimentellen Gesetze ist genau als Folgerung aus diesen Hypothesen darstellbar.

Aber man kann aus diesen Hypothesen unbegrenzt viel Folgerungen ziehen, man kann auch solche ableiten, die keinem der früher bekannten experimentellen Gesetze entsprechen, die lediglich mögliche experimentelle Gesetze darstellen.

Unter diesen Folgerungen gibt es solche, die auf praktisch realisierbare Bedingungen Bezug haben und daher besonders interessant sind, weil sie mit den Tatsachen konfrontiert werden können. Wenn sie die experimentellen Gesetze, denen diese Tatsachen unterliegen, genau darstellen, wird der Wert der Theorie wachsen, das Gebiet, auf dem sie herrscht, wird mit neuen Gesetzen bereichert sein. Wenn dagegen gewisse dieser Folgerungen im deutlichen Widerspruch mit den Tatsachen, deren Gesetz die Theorie darstellen sollte, stehen, muß sie mehr oder minder modifiziert, vielleicht vollständig verworfen werden.

Nehmen wir nun an, es gelte im Moment, wenn die Voraussagungen der Theorie mit der Wirklichkeit konfrontiert werden, eine Wette für oder gegen die Theorie zu schließen. Zugunsten welcher Seite würden wir unseren Einsatz wagen?

Wenn die Theorie ein rein künstliches System ist, wenn wir in den Hypothesen, auf denen sie ruht, Ausdrücke sehen, die mit Geschick so aufgestellt werden, daß sie die bereits bekannten experimentellen Gesetze darstellen, wenn wir in ihnen aber keinen Reflex der wirklichen Beziehungen zwischen den Realitäten, die sich vor unseren Augen verbergen, vermuten, so werden wir denken, daß eine derartige Theorie von einer neu gefundenen Tatsache eher widerlegt als bestätigt

werden wird. Es wäre ein wunderbarer Zufall, wenn die bisher unbekannte Gesetzmäßigkeit gerade einen ganz geeigneten Platz in dem Raume finden würde, der von den anderen Gesetzmäßigkeiten freigelassen wurde, und wir wären toll, wollten wir auf diese Hoffnung hin unseren Einsatz wagen.

Wenn wir im Gegenteil in der Theorie eine naturgemäße Klassifikation erkennen, wenn wir wissen, daß ihre Prinzipien tiefe und wirkliche Beziehungen zwischen den Dingen ausdrücken, werden wir nicht erstaunt sein zu sehen, daß ihre Folgerungen der Erfahrung vorauseilen und die Entdeckung neuer Gesetze befördern. Wir werden kühn auf sie wetten.

Wenn wir von einer Klassifikation fordern, daß sie von vornherein Tatsachen, die erst in Zukunft entdeckt werden, ihren Platz anweist, zeigt das am deutlichsten, daß wir diese Klassifikation für naturgemäß halten. Und wenn die Erfahrung die Voraussagungen unserer Theorie bestätigt, dann fühlen wir, wie sich in uns die Überzeugung festigt, daß die Beziehungen, die unser Verstand zwischen den abstrakten Begriffen hergestellt hat, tatsächlich den Beziehungen zwischen den Dingen entsprechen.

So stellt die moderne chemische Bezeichnung, indem sie sich der Konstitutionsformeln bedient, eine Klassifikation her, in die sich die verschiedenen Verbindungen einordnen. Die wunderbare Ordnung, die diese Klassifikation in das gewaltige Arsenal der Chemie bringt, macht uns schon sicher, daß sie nicht ein rein künstliches System sei. Die Bande der Analogie und der Ableitung durch Substitution, welche sie zwischen den verschiedenen Verbindungen herstellt, haben nur in unserem Geist Sinn. Und doch sind wir überzeugt, daß sie Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den Substanzen selbst entsprechen, deren Natur uns zwar tief verborgen bleibt, deren Realität uns aber nicht zweifelhaft erscheint. Nichtsdestoweniger kann sich diese Überzeugung erst in eine unwiderlegliche Sicherheit verwandeln, wenn wir sehen, daß die chemische Theorie die Formeln einer Menge von Körpern im Voraus schreiben kann, und daß die Synthese, indem sie diese Angaben befolgt, Substanzen

herstellt, deren Zusammensetzung, ja sogar deren Eigenart wir kannten, bevor sie bestanden.

Ebenso wie die vorausgesagten Synthesen bestätigen, daß die chemische Bezeichnung eine naturgemäße Klassifikation sei, ebenso beweist die physikalische Theorie, daß sie der Reflex einer realen Ordnung sei, indem sie der Beobachtung vorauseilt.

Die Geschichte der Physik gibt uns nun eine Fülle von Beispielen solcher hellseherischer Wahrsagungen. Häufig hat eine Theorie noch nicht beobachtete Tatsachen und sogar solche, die unwahrscheinlich schienen, vorausgesehen, indem sie den Experimentator zur Entdeckung anreizte und zu ihr hinführte.

Die Académie des Sciences hatte als Thema für die Bewerbung um den Preis für Physik, welchen sie in der Sitzung im März 1819 zuerkennen sollte, die allgemeine Prüfung der Beugungserscheinungen des Lichtes festgesetzt. Von den zwei vorgelegten Arbeiten hatte die eine, die preisgekrönt wurde, Fresnel zum Verfasser. Biot, Arago, Laplace, Gay-Lussac und Poisson bildeten die Kommission.

Aus den von Fresnel aufgestellten Prinzipien leitete Poisson durch eine elegante Analyse folgende befremdende Folgerung ab: Wenn ein kleiner, kreisförmiger Schirm in den Weg der Strahlen, die von einem leuchtenden Punkt ausgehen, gestellt wird, dann existieren hinter dem Schirm, auf der Achse dieses Schirmes selbst, Punkte, die nicht nur beleuchtet, sondern genau ebenso hell sind, als wenn der Schirm nicht zwischen sie und die Lichtquelle gestellt worden wäre.

Eine derartige Konsequenz schien, da sie den frühesten und zuverlässigsten experimentellen Feststellungen scheinbar so entgegengesetzt war, wohl dazu angetan, zur Zurückweisung der Beugungstheorie, die Fresnel aufgestellt, zu führen. Arago hatte gestützt auf die Klarheit dieser Theorie Zutrauen zu deren naturgemäßen Charakter und versuchte eine Prüfung. Die Beobachtung ergab Resultate, die vollständig mit den so

wenig wahrscheinlichen Voraussagungen der Rechnung übereinstimmten[1]).

So gibt die physikalische Theorie, wie wir sie definiert haben, eine gedrängte Darstellung einer großen Menge experimenteller Gesetze, die für die Ökonomie des Denkens förderlich ist.

Sie klassifiziert diese Gesetze. Indem sie sie klassifiziert, macht sie sie leichter und sicherer brauchbar. Indem sie in ihre Gesamtheit Ordnung bringt, erfüllt sie sie gleichzeitig mit Schönheit.

Sie nimmt, indem sie sich vervollkommnet, den Charakter einer naturgemäßen Klassifikation an. Die Gruppierungen, die sie herstellt, lassen die wirklichen Verwandtschaften der Dinge ahnen.

Dieser Charakter der naturgemäßen Klassifikation macht sich vor allem durch die Fruchtbarkeit der Theorie bemerkbar, die bisher nicht beobachtete Erfahrungstatsachen vorhersagt und deren Entdeckung beeinflußt.

Das genügt, um zu vermeiden, daß die Forschung nach physikalischen Theorien als unnütze und müßige Arbeit angesehen wird, obschon sie nicht die Erklärung der Erscheinungen anstrebt.

Drittes Kapitel.

Die beschreibenden Theorien und die Geschichte der Physik.

§ 1. — Die Rolle der naturgemäßen Klassifikation und der Erklärungen in der Entwicklung der physikalischen Theorien.

Als Ziel einer physikalischen Theorie betrachten wir, daß sie zu einer naturgemäßen Klassifikation werde, das heißt, daß sie zwischen den verschiedenen experimentellen Gesetzen eine logische Beziehung herstelle, die gleichsam ein Bild und ein Reflex der wirklichen Ordnung ist, in der die Realitäten, die

[1]) Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel, t. I., pp. 236, 365, 368.

uns entgehen, angeordnet sind. Dies ist die Bedingung dafür, daß die Theorie fruchtbar sei, daß sie Entdeckungen bewirke.

Aber gegen die Lehre, die wir hier auseinandersetzen, erhebt sich sogleich ein Einwand.

Wenn die Theorie eine naturgemäße Klassifikation sein will, wenn sie suchen soll die Erscheinungen so zu gruppieren, wie die Realitäten gruppiert sind, ist dann nicht die sicherste Methode, um dieses Ziel zu erreichen, vor allem nach diesen Realitäten zu forschen? Wäre es nicht verständiger, anstatt ein logisches System aufzubauen, welches in möglichst gedrängter und möglichst genauer Weise die experimentellen Gesetze in der Hoffnung darstellt, daß dieses logische System sich zu einem Bilde der ontologischen Ordnung der Dinge entwickeln werde, sogleich die Erklärung dieser Gesetze, die Enthüllung dieser verborgenen Dinge zu versuchen? Ist nicht dies überhaupt der Weg, den die Meister der Wissenschaft eingeschlagen haben? Haben sie nicht jene fruchtbaren Theorien, deren frappierende Wahrsagungen unser Erstaunen erregen, geschaffen, indem sie sich um die Erklärung der physikalischen Erscheinungen bemühten? Was können wir besseres tun als ihrem Beispiel folgen, als zu den Methoden zurückzukehren, die wir in unserem ersten Kapitel verurteilt haben?

Es ist unzweifelhaft, daß viele der Genies, denen wir die moderne Physik verdanken, ihre Theorien in der Hoffnung ersonnen haben, eine Erklärung der Naturerscheinungen geben zu können, daß manche sogar geglaubt haben, bis zu dieser Erklärung vorgedrungen zu sein. Aber dies läßt keinen Schluß gegen die Meinung, die wir in betreff der physikalischen Theorien entwickelt haben, zu. Phantastische Hoffnungen konnten wunderbare Erfindungen veranlassen, ohne daß diese Erfindungen den Hirngespinsten Gestalt gaben, denen sie ihre Entstehung verdankten. Kühne Erforschungen, die viel zum Fortschritt der Geographie beigetragen haben, sind Abenteurern zu verdanken, die das Goldland suchten. Und doch ist dies kein zureichender Grund, das Eldorado in unseren Weltkarten aufzuzeichnen.

Wenn man daher beweisen will, daß die Forschung nach

Erklärungen für die Physik wirklich fruchtbar sei, dann genügt es nicht, den Beweis zu führen, daß eine ansehnliche Zahl von Theorien von Denkern geschaffen wurden, die nach solchen Erklärungen strebten. Man muß vielmehr beweisen, daß die Forschung nach einer Erklärung wirklich der Ariadnefaden sei, der sie inmitten der verwirrenden Mannigfaltigkeit der physikalischen Tatsachen geführt und ihnen ermöglicht hat, den Plan dieses Labyrinthes zu zeichnen.

Es ist nun nicht nur unmöglich, diesen Beweis zu liefern, sondern ein auch nur oberflächliches Studium der Geschichte der Physik liefert im Überfluß Argumente, die gerade das Gegenteil schließen lassen.

Wenn man eine der von den Physikern geschaffenen Theorien, die die wahrnehmbaren Erscheinungen erklären wollen, analysiert, erkennt man gewöhnlich bald, daß diese Theorie aus zwei wesentlich verschiedenen Teilen besteht: der eine ist der einfach beschreibende, der die Gesetzmäßigkeiten klassifizieren will, der andere ist der erklärende, der unter den Erscheinungen die Realität zu erfassen sucht.

Der erklärende Teil bildet nun bei weitem nicht die zureichende Grundlage des beschreibenden. Er ist nicht der Same, aus dem dieser entsproßt, oder die Wurzel, die sein Wachstum fördert. Das Band zwischen den beiden Teilen ist fast immer recht schwach und künstlich. Der beschreibende Teil entwickelt sich auf eigene Rechnung durch die eigentlichen und selbständigen Methoden der theoretischen Physik. An diesen vollständig ausgebildeten Organismus rankt sich der erklärende Teil wie eine Schmarotzerpflanze an.

Nicht diesem parasitären, erklärenden Teil verdankt die Theorie ihre Kraft und Fruchtbarkeit. Ganz im Gegenteil. Alles, was die Theorie an Gutem enthält, was sie als naturgemäße Klassifikation erscheinen läßt, was ihr die Möglichkeit verleiht, die Erfahrung vorauszusagen, befindet sich in dem beschreibenden Teil. Alles das wurde von dem Physiker entdeckt, als er an die Forschung nach Erklärungen vergessen hatte. Was dagegen die Theorie an Schlechtem enthält, was durch die Tatsachen widerlegt wird, befindet sich vor allem in dem erklärenden

Teil, in den es der Physiker, von dem Wunsche geleitet, die Realitäten zu erfassen, eingeführt hat.

Daraus folgt: Wenn die Fortschritte der experimentellen Physik eine Theorie umstoßen, wenn sie erfordern, daß sie geändert oder umgewandelt werde, geht der rein beschreibende Teil fast vollständig in die neue Theorie über, indem er ihr die Erbschaft von alledem übermacht, was die alte Theorie an Kostbarem besaß, während der erklärende Teil wegfällt, um einer anderen Erklärung Platz zu machen.

So überträgt jede physikalische Theorie durch eine stetige Überlieferung der ihr folgenden den Teil der naturgemäßen Klassifikation, den sie aufstellen konnte, wie in gewissen antiken Spielen jeder Läufer die brennende Fackel dem Läufer, der nach ihm kam, entgegenstreckte. Diese fortgesetzte Überlieferung verschafft der Wissenschaft Beständigkeit des Lebens und des Fortschrittes.

Diese Kontinuität der Überlieferung ist für den oberflächlichen Beobachter unter dem unaufhörlichen Getöse der zerschmetternden Erklärungen verborgen, die nur entstehen, um zu vergehen.

Bekräftigen wir alles das, was wir ausführten, durch einige Beispiele. Wir benützen als solche die Theorien, zu denen die Brechung des Lichtes Anlaß gegeben hat. Wir bedienen uns dieser Theorien nicht etwa deshalb, weil sie unserer These außerordentlich günstig sind, sondern im Gegenteil gerade darum, weil Leute, die die Geschichte der Physik oberflächlich studieren, meinen könnten, daß diese Theorien ihre hauptsächlichsten Fortschritte der Forschung nach Erklärungen verdanken.

Descartes hat eine Theorie aufgestellt, die die Phänomene der einfachen Brechung beschreibt. Sie bildet den Hauptgegenstand der beiden wunderbaren Abhandlungen, der Dioptrik und der Meteore, denen die Abhandlung über die Methode als Einleitung dient. In ihr werden auf Grund des konstanten Verhältnisses zwischen dem Sinus des Einfalls- und jenem des Brechungswinkels die Eigenschaften verschieden geschliffener Gläser, sowie die der mit solchen Gläsern

ausgestatteten optischen Instrumente klar und übersichtlich dargelegt. Es wird in ihr von den Erscheinungen, die bei der Gesichtswahrnehmung auftreten, Rechenschaft gegeben, und die Gesetze des Regenbogens werden analysiert.

Descartes hat außerdem eine Erklärung der Lichterscheinungen gegeben. Das Licht ist nur eine Erscheinung, während die Realität in einem Druck besteht, der durch die schnellen Bewegungen der glühenden Körper hervorgebracht wird, die im Innern eines feinen, alle Körper durchdringenden Stoffes stattfinden. Dieser feine Stoff ist inkompressibel, so daß der Druck, den das Licht ausübt, sich momentan in jede Entfernung fortpflanzt. So weit auch ein Punkt von einer Lichtquelle entfernt ist, in dem gleichen Augenblick, in dem sie zu leuchten beginnt, ist er auch beleuchtet. Diese augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes ist eine absolut notwendige Folge des Systemes von Erklärungen, das Descartes geschaffen. An Beeckmann, der dieser Meinung nicht beitreten und sie nach Galileis Vorbild mit Hilfe — allerdings kindlicher — Experimente widerlegen wollte, schrieb er:[1]) „Für mich ist sie so sicher, daß wenn sie, was unmöglich ist, als Irrtum erkannt würde, ich auf der Stelle bereit wäre, Ihnen zu erklären, daß ich nichts von Philosophie verstehe. Sie haben so großes Zutrauen zu Ihrem Versuche, daß Sie sich bereit erklären, Ihre ganze Philosophie für falsch zu erklären, wenn kein Zeitunterschied zwischen dem Moment, in dem man die Bewegung der Laterne im Spiegel und dem, in dem man sie in der Hand sieht, besteht. Ich erkläre Ihnen dagegen, daß meine ganze Philosophie auf den Kopf gestellt würde, wenn dieser Zeitunterschied beobachtet werden könnte."

Die Frage, ob Descartes das grundlegende Gesetz der Brechung selbst gefunden, oder ob er es gemäß einer Andeutung von Huygens bei Snellius entlehnt, ist mit Leidenschaft diskutiert worden. Die Entscheidung ist zweifelhaft, aber sie braucht uns wenig zu kümmern. Sicher ist, daß dieses

[1]) Correspondance de Descartes, édition Paul Tannery et Ch. Adam no LVII, 22. août 1634. t. I., p. 307.

Gesetz, daß die beschreibende Theorie, deren Grundlage es bildet, nicht aus der Erklärung der Lichterscheinungen, die Descartes aufgestellt hat, entsprossen ist. An ihrer Entstehung hatte die cartesianische Kosmologie keinen Anteil. Einzig die Erfahrung, die Induktion und Generalisation haben sie geschaffen.

Ja noch mehr. Niemals hat Descartes einen Versuch unternommen, um das Brechungsgesetz mit seiner erklärenden Theorie des Lichtes in Verbindung zu bringen.

Es ist wohl wahr, daß er am Anfang der Dioptrik in betreff dieses Gesetzes mechanische Analogien aufstellt, daß er die Änderung der Richtung des Strahles beim Übergang von Luft in Wasser mit der Änderung der Bewegungsrichtung einer heftig geschleuderten Kugel vergleicht, die von einem gewissen Medium in ein anderes, weniger dichtes, übergeht. Aber diese mechanischen Vergleiche, die in bezug auf Strenge Anlaß zu mancher Kritik geben würden, verketten die Theorie der Brechung weit eher mit der Emissionstheorie, einer Lehre, in der ein Lichtstrahl mit einem Schwarm kleiner Projektile verglichen wird, die heftig vom leuchtenden Körper ausgestoßen werden. Diese Erklärung, die zur Zeit von Descartes von Gassendi unterstützt und später von Newton wieder aufgenommen wurde, bildet keine Analogie zur cartesianischen Lichttheorie. Sie ist unvereinbar mit ihr.

So werden die cartesianische Erklärung der Lichterscheinungen und die verschiedenen Brechungsgesetze einfach nebeneinander gestellt, es gibt kein Band, keine Durchdringung derselben. So fällt auch an dem Tage, an dem der dänische Astronom Römer auf Grund des Studiums der Verfinsterungen der Jupitermonde zeigt, daß das Licht sich mit einer endlichen und meßbaren Geschwindigkeit im Raume fortpflanzt, die cartesianische Erklärung der Lichterscheinungen mit einem Schlage. Aber sie reißt auch nicht den kleinsten Teil der Lehre, die die Gesetzmäßigkeiten der Brechung beschreibt und klassifiziert, mit sich; diese besteht weiter und bildet auch heute noch den Hauptteil unserer elementaren Optik.

Wenn ein Lichtstrahl von Luft in gewisse kristallinische

Medien, wie z. B. in isländischen Doppelspat eintritt, teilt er sich in zwei verschieden gebrochene Strahlen, deren einer, der ordinäre Strahl, dem Gesetz von Descartes entspricht, während der andere, der extraordinäre Strahl, durch dieses Gesetz nicht gefaßt werden kann. Diese „wunderbare und ungewöhnliche Brechung des spaltbaren Kristalls aus Island" wurde im Jahre 1657 von dem Dänen Erasmus Berthelsen oder Bartolinus entdeckt und studiert[1]). Huygens suchte eine Theorie aufzustellen, die gleichzeitig die Gesetze der einfachen Brechung, die den Gegenstand der Arbeiten von Descartes bildeten, sowie die Gesetze der Doppelbrechung umfassen sollte. Er hatte damit vollen Erfolg. Aus seinen geometrischen Konstruktionen erhielt er für amorphe Medien und kubische Kristalle einen einzigen gebrochenen Strahl, wie er dem Gesetz von Descartes entspricht, während sich für nicht kubische Kristalle nicht nur zwei gebrochene Strahlen, sondern auch die Gesetze, denen diese zwei Strahlen unterliegen, vollständig ergaben. Diese Gesetze sind so kompliziert, daß das auf seine eigenen Hilfsmitteln beschränkte Experiment sie wohl nicht ergründet hätte. Nachdem aber die Theorie eine Formel für sie aufgestellt, werden sie vom Experiment auf das genaueste bestätigt.

Hat nun Huygens diese schöne und fruchtbare Theorie aus den Prinzipien der Kosmologie abgeleitet, aus jenen „Beweisen der Mechanik", auf Grund deren nach ihm „die wahre Philosophie die Ursache aller natürlichen Wirkungen begreift"? Keineswegs. Die Betrachtung des Leeren, der Atome, ihrer Härte und ihrer Bewegungen hat bei der Aufstellung dieser Beschreibung keine Rolle gespielt. Die Mittel, durch die der große holländische Physiker die Prinzipien seiner Klassifikation erlangt hat, waren ein Vergleich zwischen der Fortpflanzung des Schalles und der des Lichtes, die Konstatierung des Experimentes, daß einer der beiden gebrochenen Strahlen dem Gesetz von Descartes entspricht, während der andere ihm nicht folgte und eine glückliche und kühne Hypo-

[1]) Erasmus Bartolinus. Experimenta cristalli Islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur. Havniae, 1657.

these über die Gestalt der Oberfläche einer optischen Welle im Inneren der Kristalle.

Aber Huygens hat nicht nur nicht die Theorie der Doppelbrechung aus den Prinzipien der atomistischen Physik abgeleitet, er hat auch keineswegs, nachdem diese Theorie einmal gefunden war, versucht, sie an seine Prinzipien anzugliedern. Er stellt sich zwar, um die kristallinischen Formen zu erklären, vor, daß der Doppelspat und der Bergkristall aus regelmäßigen Anordnungen sphäroidischer Moleküle bestehen, indem er so die Ansicht von Haüy und Bravais vorbereitet, er begnügt sich aber, nachdem er diese Annahme entwickelt hat, zu schreiben:[1]) „Ich will nur hinzufügen, daß diese kleinen Sphäroide wohl zur Bildung der weiter oben angenommenen sphäroiden Lichtwellen beitragen können. Beide sind in gleicher Weise orientiert und haben parallele Achsen." Auf diesen kurzen Satz, in dem er den Kristallen eine entsprechende Gestalt zuschreibt, beschränkt sich alles, was er zur Erklärung der Gestalt der Wellenfläche des Lichtes unternommen hat.

So wird auch seine Theorie unversehrt bleiben, während die verschiedenen gebrechlichen und morschen Erklärungen der Lichterscheinungen aufeinanderfolgen, trotz des Zutrauens, das diejenigen zu ihrer Lebensdauer hegten, die sie entworfen.

Unter dem Einfluß Newtons triumphiert die Erklärung auf Grund der Annahme der Emission. Diese Erklärung ist derjenigen vollständig entgegengesetzt, die Huygens der Schöpfer der Undulationstheorie von den Lichterscheinungen gab. Aus dieser Erklärung im Verein mit einer den Prinzipien von Boscovich entsprechenden Anziehungslehre, die der große holländische Atomistiker für absurd gehalten hätte, leitet Laplace eine Rechtfertigung der Huygensschen Konstruktionen ab.

Laplace erklärt nicht nur durch eine auf Anziehung gegründete Physik die Theorie der einfachen und doppelten Brechung, die durch einen Physiker entdeckt wurde, der ganz

[1]) Huygens: Traité de la lumière, où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la réflexion et dans la réfraction et particulièrement, dans l'étrange réfraction du cristal d'Islande. Édition W. Burckhardt, p. 71.

entgegengesetzte Anschauungen hegte, er leitet sie nicht nur „aus diesen Prinzipien,[1]) für die man Newton zu Dank verpflichtet ist, mit Hilfe deren alle Phänomene der Bewegung des Lichtes durch eine beliebige Zahl von durchsichtigen Medien und durch die Atmosphäre strengen Berechnungen unterworfen worden sind" ab, sondern er denkt sogar, daß durch diese Deduktion ihre Sicherheit und Genauigkeit wachse. Ohne Zweifel muß die Lösung der Probleme der Doppelbrechung, die die Konstruktion von Huygens gibt, „als ein Resultat der Erfahrung angesehen werden und vielleicht in die Reihe der schönsten Entdeckungen dieses seltenen Genius aufgenommen werden . . . Man braucht nicht erst abzuwägen, um sie unter die sichersten und schönsten Resultate der Physik aufzunehmen." Aber „bisher war dieses Gesetz nur ein Resultat der Beobachtung, welches der Wirklichkeit innerhalb der Grenzen der Fehler, die auch den genauesten Versuchen anhaften, nahe kam. Nunmehr kann es auf Grund der Einfachheit des Anziehungsgesetzes, von dem es abhängt, als ein strenges Gesetz betrachtet werden." Laplace geht in dem Zutrauen zu dem Wert der Erklärung, die er vorbringt, sogar so weit, daß er behauptet, daß diese Erklärung allein die Unwahrscheinlichkeit der Huygensschen Theorie beseitigen und sie klaren Köpfen annehmbar machen kann, denn „dieses Gesetz hat dasselbe Schicksal erlitten, wie die schönen Gesetze von Kepler, die lange Zeit mißkannt wurden, da sie mit systematischen Gedanken vereinigt waren, mit denen dieser große Mann unglücklicherweise alle seine Werke erfüllt hat".

Im gleichen Augenblick, in dem Laplace mit solcher Verachtung die Wellenlehre der Optik behandelt, gewinnt diese, durch Young und Fresnel gefördert, die Oberhand über die Emissionslehre. Aber dank Fresnel hat die Wellenlehre der Optik eine einschneidende Änderung erfahren. Die Lichtschwingung findet nicht mehr in der Richtung des Strahles, sondern normal zu ihm statt. Die Analogie zwischen Schall und Licht, die Huygens leitete, ist verschwunden. Nichtsdesto-

[1]) Laplace: Exposition du système du monde 1. IV. c. XVIII.: De l'attraction moléculaire.

weniger führt auch die neue Erklärung die Physiker zur Akzeptierung der Konstruktion der gebrochenen Strahlen in einem Kristall, wie sie Huygens erdacht.

Ja noch mehr. Indem die Huygenssche Lehre ihren erklärenden Teil änderte, bereicherte sie ihren beschreibenden. Sie stellt nicht mehr bloß die Gesetze des Ganges der Strahlen, sondern auch die Gesetze des Polarisationszustandes derselben dar.

Die Anhänger dieser Theorie wären nun recht gut in der Lage, Laplace das verachtende Mitleid, das er ihnen gegenüber zeigte, zu vergelten. Es wird schwer, ohne Lächeln die Sätze zu lesen, die der große Mathematiker zur gleichen Zeit als Fresnels Optik siegte, niederschrieb[1]). „Die Phänomene der Doppelbrechung und der Aberration der Gestirne scheinen mir dem System der Lichtemission, wenn schon nicht eine vollkommene Sicherheit, so doch zum mindesten die äußerste Wahrscheinlichkeit zu verleihen. Diese Phänomene sind auf Grund der Annahme von Wellen in einem ätherartigen Fluidum unerklärlich. Die eigentümliche Eigenschaft, daß ein durch einen Kristall polarisierter Strahl sich beim Durchgang durch einen zweiten parallelen Kristall nicht mehr teilt, zeigt deutlich die verschiedenen Wirkungen desselben Kristalls auf die verschiedenen Seiten eines Lichtteilchens an."

Die Theorie der Brechung, die Huygens aufgestellt hatte, umfaßte nicht alle möglichen Fälle. Eine sehr große Gruppe kristallisierter Körper, die zweiachsigen Kristalle, zeigen Erscheinungen, die nicht innerhalb ihres Rahmens untergebracht werden können. Diesen Rahmen beabsichtigte Fresnel in der Art zu erweitern, daß man in ihn nicht nur die Gesetze der einfachen Brechung, sowie die der einachsigen Doppelbrechung, sondern auch die der zweiachsigen Doppelbrechung einordnen könnte. Wie erreichte er dieses Ziel? Suchte er eine Erklärung des Wesens der Lichtfortpflanzung in Kristallen? Keineswegs. Er erreichte es durch unmittelbare geometrische Erkenntnis, in der keine Hypothese über die Natur des Lichtes oder über

[1]) Laplace: Exposition du système du monde. loc. cit.

die Konstitution der durchsichtigen Körper Raum hatte. Er bemerkte, daß alle Wellenflächen, die Huygens in Betracht zog, durch eine einfache geometrische Konstruktion aus einer gewissen Fläche zweiter Ordnung abgeleitet werden können. Diese Fläche ergab sich als Kugel für einfachbrechende Medien, als Rotationsellipsoid für einachsige doppelbrechende Medien. Er meinte nun, daß wenn man dieselbe Konstruktion auf ein Ellipsoid mit drei verschiedenen Achsen anwenden würde, man die Wellenfläche erhielte, die zweiachsigen Kristallen zukommt.

Diese kühne Intuition war vom glänzendsten Erfolg begleitet. Die Fresnelsche Theorie war nicht nur im genauesten Einklang mit allen experimentellen Bestimmungen, sondern sie regte auch zur Forschung und Entdeckung unerwarteter und paradoxer Tatsachen an, die zu suchen dem sich selbst überlassenen Experimentator wohl nie eingefallen wäre.

Solche Tatsachen sind die beiden Arten der konischen Refraktion. Der große Mathematiker Hamilton leitete aus der Gestalt der Wellenfläche der zweiachsigen Kristalle die Gesetze dieser wunderbaren Erscheinungen ab, um deren Auffindung der Physiker Lloyd sich sogleich bemühte und sie tatsächlich auch entdeckte.

Die Theorie der zweiachsigen Doppelbrechung besitzt daher jene Fruchtbarkeit und Sehergabe, die wir als Kennzeichen einer naturgemäßen Klassifikation betrachten. Und doch ist sie nicht aus einem Erklärungsversuch hervorgegangen.

Damit soll nicht gesagt sein, daß Fresnel nicht versucht hat, die Gestalt der Wellenfläche, die er erhalten, zu erklären. Im Gegenteil erfüllten ihn diese Versuche sogar mit solcher Leidenschaft, daß er die Methode, die ihn tatsächlich zu seiner Entdeckung führte, gar nicht veröffentlichte. Diese Methode wurde erst nach seinem Tode bekannt, als man endlich seine erste Abhandlung[1]) über die Doppelbrechung dem Druck übergab. In den Schriften über die Doppelbrechung, die er zu seinen Lebzeiten veröffentlichte, bemühte er sich ohne Unter-

[1]) Siehe l'Introduction aux oeuvres d'Augustin Fresnel par E. Verdet, art. 11 et 12 (Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel, t. I., p. LXX et p. LXXII.)

laß mit Hilfe von Hypothesen über die Eigenschaften des Äthers, die Gesetze, die er entdeckt hatte, wiederaufzufinden, „aber diese Hypothesen, auf denen er seine Prinzipien aufbaute, halten keiner eingehenderen Prüfung stand".[1]) Die Theorie von Fresnel erscheint wunderbar, solange sie sich auf die Rolle einer naturgemäßen Klassifikation beschränkt, sie wird unhaltbar, wenn sie sich als Erklärung gebärdet.

Ebenso steht es mit den meisten physikalischen Lehren. Dauerhaft und fruchtbar ist die in ihnen aufgewendete logische Arbeit, die die naturgemäße Klassifikation einer großen Zahl von Tatsachen durch Ableitung aus wenigen Prinzipien bewirkt, unfruchtbar und vergänglich dagegen jene Arbeit, die auf die Erklärung dieser Prinzipien aufgewendet wurde, um sie mit Annahmen über die Realitäten, die sich unter den wahrnehmbaren Erscheinungen verbergen, zu verknüpfen.

Man hat sehr oft den Fortschritt der Wissenschaft mit der Meeresflut verglichen. In der Anwendung auf die Entwicklung der physikalischen Theorien scheint uns dieser Vergleich besonders richtig und kann bis in seine Details durchgeführt werden.

Wer nur einen kurzen Blick auf die Wellen, die einen Strand zu erobern suchen, wirft, bemerkt nicht das Ansteigen der Flut. Er sieht, wie eine Woge sich erhebt, näher kommt, sich schäumend bricht, er sieht wie sie einen schmalen Streifen Sand bedeckt und sich dann wieder zurückzieht, wobei der Boden, der erobert schien, wieder trocken wird. Eine neue Woge folgt ihr, welche manchmal ein wenig weiter geht als die vorherige, manchmal dagegen nicht einmal jenen Kiesel erreicht, den diese benetzt hatte. Aber unter dieser oberflächlichen Hin- und Herbewegung entsteht eine andere, tiefergehende, langsamere, dem kurzen Beobachter unmerkliche Bewegung, die stets im selben Sinne fortschreitet, der zufolge das Meer unaufhörlich steigt. Das Hin- und Hergehen der Wogen ist das treue Bild der Erklärungsversuche, die nur entstehen, um zu vergehen. Durch sie verdeckt vollzieht sich

[1]) E. Verdet: loc. cit. p. 84.

der langsame und stetige Fortschritt der naturgemäßen Klassifikation, deren Flut ohne Unterlaß neue Gebiete erobert und die den Lehren der Physik die Kontinuität der Überlieferung sichert.

§ 2. — Die Meinungen der Physiker über das Wesen der physikalischen Theorien.

Einer der Denker, die am lebhaftesten dafür eingetreten sind, daß die physikalischen Theorien als Beschreibungen und nicht als Erklärungen betrachtet werden — Herr Ernst Mach — hat folgendes geschrieben:[1])

„Die Vorstellung von einer Ökonomie des Denkens entwickelte sich mir durch Lehrerfahrungen, durch die Praxis des Unterrichtes. Ich hatte dieselbe schon, als ich 1861 meine Vorlesungen als Privatdozent begann, und glaubte damals im alleinigen Besitz derselben zu sein, was man wohl verzeihlich finden wird. Ich bin jetzt im Gegenteil davon überzeugt, daß wenigstens eine Ahnung dieser Einsicht stets ein Gemeingut aller Forscher gewesen sein muß, welche über das Forschen als solches sich überhaupt Gedanken gemacht haben."

In der Tat haben bereits im Altertum gewisse Philosophen sehr richtig erkannt, daß die physikalischen Theorien keineswegs Erklärungen, daß ihre Hypothesen keineswegs Urteile über das Wesen der Dinge, sondern nur Voraussetzungen seien, die bestimmt sind, den Erfahrungstatsachen entsprechende Folgerungen zu ergeben.

Die Griechen kannten eigentlich nur eine einzige physikalische Theorie, diejenige der Bewegungen der Himmelskörper. Sie haben daher anläßlich der Behandlung der kosmographischen Systeme ihre Gedanken über die physikalische Theorie geäußert und entwickelt. Was sie sonst an anderen Theorien, die heute zur Physik gehören, bis zu einem gewissen Grad der Vollkommenheit gebracht haben, nämlich die Theorie des Gleichgewichtes am Hebel und die Hydrostatik, gründete sich auf Prinzipien, deren Natur nicht Gegenstand des Zweifels sein

[1]) E. Mach: Die Mechanik etc., V. Aufl. 1904, pag. 537. [In der franz. Ausg. p. 360.]

konnte. Die Fragen des Archimedes waren offensichtlich Sätze erfahrungsmäßigen Ursprunges, die die Generalisation umgeformt hatte. Auf Grund der Übereinstimmung ihrer Folgerungen mit den Tatsachen wurden diese zusammengefaßt und geordnet, nicht aber erklärt.

Die Griechen schieden in der Diskussion über eine Theorie der Bewegung der Gestirne sehr wohl das, was den Physiker — wir würden heute sagen den Metaphysiker — betrifft, von dem, was den Astronomen angeht. Der Physiker soll auf Grund der Beweise der Kosmologie entscheiden, welche wirklichen Bewegungen die Gestirne haben. Der Astronom dagegen braucht sich nicht zu kümmern, ob die Bewegungen, die er erdenkt, wirklich oder fiktiv sind. Seine Aufgabe ist, möglichst genau die relativen Lagenänderungen der Gestirne darzustellen.[1])

In seinen schönen Untersuchungen über die kosmographischen Systeme der Griechen hat Schiaparelli eine sehr bemerkenswerte Stelle, die diese Unterscheidung zwischen Astronomie und Physik betrifft, ans Licht gezogen. Diese Stelle, die von Posidonius herrührt, von Geminus resumiert oder zitiert wurde, und uns durch Simplicius erhalten blieb, ist folgende:

„Es kommt der Astronomie nicht zu, in absoluter Weise zu wissen, was in der Natur fest ist und was sich bewegt. Sie prüft aber die Hypothesen, die das Unbewegliche und das Bewegliche betreffen, um diejenigen zu finden, die den Himmelserscheinungen entsprechen. Wegen der Prinzipien muß man sich an den Physiker wenden."

Diese Gedanken, die die reine perepatetische Lehre ausdrücken, haben manche Stelle in den Schriften der Astronomen des Altertums beeinflußt. Die Scholastik hat sie förmlich übernommen. Auf Grund der Physik, d. h. der Kosmologie, wird von den astronomischen Erscheinungen Rechenschaft gegeben,

[1]) Wir bedienen uns einiger der Aufschlüsse, die sich aus einem sehr wichtigen Artikel des Herrn P. Mansion: Note sur le caractère géométrique de l'ancienne astronomie (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik, IX. Leipzig, B. G. Teubner) ergeben. Siehe auch P. Mansion: Sur les principes fondamentaux de la géométrie, de la mécanique et de l'astronomie. Paris, Gauthier-Villars, 1903.

indem auf die eigentlichen Ursachen rekurriert wird, während die Astronomie nur die Beobachtung der Phänomene und die Schlüsse, die die Mathematik ermöglicht, behandelt: „Die Astronomie," sagt der heilige Thomas, indem er die Physik des Aristoteles kommentiert, „zieht Schlüsse, die denen der Physik gleich sind. Aber da sie nicht rein physikalisch ist, gelangt sie zu ihnen auf anderen Wegen. So demonstriert der Physiker, daß die Erde kugelförmig sei auf Grund eines physikalischen Verfahrens, indem er z. B. darauf hinweist, daß ihre Teile sich nach allen Seiten und gleichmäßig gegen ein Zentrum erstrecken, der Astronom hingegen auf Grund der Gestalt des Mondes bei den Finsternissen oder auch auf Grund der Tatsachen, daß die Sterne nicht von allen Teilen der Erde in gleicher Weise gesehen werden."

Auf Grund dieser Auffassung der Rolle der Astronomie drückt sich der heilige Thomas in seinem Kommentar des aristotelischen De coelo folgendermaßen über die Planetenbewegung aus: „Die Astronomen haben sich verschiedentlich bemüht, diese Bewegung zu erklären. Aber es ist nicht nötig, daß die Annahmen, die sie ersonnen haben, wahr seien, denn es könnten vielleicht die Erscheinungen, die die Sterne aufweisen, auch durch irgend eine andere den Menschen noch unbekannte Art der Bewegung gerechtfertigt werden. Aristoteles verwendet indessen solche die Natur der Bewegung betreffende Annahmen, wie wenn sie wahr wären."

In einer Stelle der Summa theologiae (I. 32) weist der heilige Thomas noch klarer darauf hin, daß die physikalische Methode außerstande sei, in den Besitz einer bestimmten Erklärung zu kommen: „Man kann," sagt er, „nach zwei verschiedenen Arten von einer Sache Rechenschaft geben. Die erste besteht darin, daß man in zureichender Weise ein gewisses Prinzip beweist. So gibt man in der Kosmologie (Scientia naturalis) einen zureichenden Grund dafür an, um zu beweisen, daß die Bewegung des Himmels gleichförmig sei. Nach der zweiten Art führt man keinen Grund an, der in zureichender Weise das Prinzip beweisen würde, sondern man zeigt, daß, wenn das Prinzip vorausgesetzt wird, seine Konsequenzen mit den Tat-

sachen in Übereinstimmung sind. So verwendet man in der Astronomie die Hypothese der Epizykeln und exzentrischen Kreise, weil auf Grund dieser Hypothese die wahrnehmbaren Erscheinungen der Himmelsbewegungen sicher dargestellt werden können. Dies ist aber kein hinreichender Beweisgrund, weil sie vielleicht auch auf Grund einer anderen Hypothese ebenso sicher dargestellt werden könnten."

Diese Meinung über die Rolle und das Wesen der astronomischen Hypothesen kann sehr leicht mit vielen Stellen bei Kopernikus und bei dessen Kommentator Rheticus in Übereinstimmung gebracht werden. Kopernikus führt bekanntlich in seinem Commentariolus de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis bloß die Unbeweglichkeit der Sonne und die Beweglichkeit der Erde als Postulate ein, die er zugestanden zu erhalten wünscht: Si nobis aliquae petitiones... conceduntur. Es ist allerdings richtig, daß an gewissen Stellen seiner Schrift „De revolutionibus coelestibus libri sex" er sich in betreff der Realität seiner Hypothesen zu einer weniger reservierten Meinung bekennt, als die überlieferte Scholastik, und als sie im Commentariolus auseinandergesetzt ist.

Diese letztere Lehre ist in der berühmten Einleitung, die Osiander zu dem Werke: De revolutionibus coelestibus libri sex schrieb, in aller Form ausgesprochen. Osiander drückt sich folgendermaßen aus: Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras, imo, ne verisimiles quidem; sed sufficit hoc unum, si calculum observationibus congruentem exhibeant, und schließt seine Einleitung mit folgenden Worten: Neque quisquam, quod ad hypotheses attinet, quicquam certi ab astronomia expectet, cum nihil tale praestare queat.

Eine solche Lehre über die astronomischen Hypothesen empörte Kepler[1]): „Niemals," sagte er in seiner ersten Schrift[2]),

[1]) Im Jahre 1597 veröffentlichte Nicolas Raimarus Ursus in Prag eine Schrift, betitelt: De hypothesibus astronomicis, in der er die Meinungen Osianders überschätzte und unterstützte. Drei Jahre später, also 1600 oder 1601, antwortet Kepler mit folgender Schrift: Joannis Kepleri apologia Tychonis contra Nicolaum Raymarum Ursum. Diese Schrift,

„könnte ich meine Zustimmung zu der Meinung der Leute geben, die als Vorbild irgendeine beiläufige Darlegung anführen, in der auf Grund falscher Voraussetzungen ein strenger Vernunftschluß zu irgendeiner richtigen Folgerung führt, und die gestützt auf dieses Beispiel sich um den Beweis bemühen, daß die von Kopernikus angenommenen Hypothesen falsch sein könnten, und daß dennoch wirkliche φαινομενα aus ihnen folgen können, wie aus ihren eigenen Prinzipien .... Ich zögere nicht zu erklären, daß alles das, was Kopernikus a posteriori zusammengestellt und durch die Beobachtung bestätigt hat, daß alles das, ohne irgendein Hindernis a priori mit Hilfe der geometrischen Axiome aufgezeigt werden kann, und sogar in solcher Vollkommenheit, daß Aristoteles, wenn er noch leben würde, freudig seine Zustimmung bekennen würde."

Dieses enthusiastische und ein wenig naive Vertrauen zu der grenzenlosen Macht der physikalischen Methode nimmt bei den großen Erfindern, die am Anfang des XVII. Jahrhunderts auftraten, ab. Galilei unterscheidet sehr wohl zwischen dem Standpunkt der Astronomie, deren Hypothesen keine andere Bestätigung als die Übereinstimmung mit der Erfahrung finden können, und dem Standpunkt der Naturphilosophie, die die Realitäten erfaßt. Er behauptet, indem er die Lehre von der Bewegung der Erde unterstützt, nur als Astronom zu reden und keineswegs seine Annahmen als Wahrheiten auszugeben. Aber diese Unterscheidungen sind bei ihm nur Ausflüchte, um der Zensur der Kirche zu entgehen. Seine Richter haben sie nicht als aufrichtige Meinungen betrachtet, und sie hätten wohl recht geringen Scharfblick bewiesen, wenn sie es getan hätten. Wenn sie angenommen hätten, daß Galilei aufrichtig als Astronom und nicht als Naturphilosoph — resp. als Physiker gemäß

die im Manuskript und sehr unvollständig blieb, wurde erst 1858 durch Frisch veröffentlicht. (Joannis Kepleri astronomi Opera omnia. Band I, p. 215. Frankfurt a. M. und Erlangen.) Dieses Werk enthält lebhafte Zurückweisungen der Gedanken Osianders.

[5]) Prodromus dissertationum cosmographicarum continens mysterium cosmographicum . . . a M. Joanne Keplero Wirtembergio, Tubingae, Georgius Gruppenbachius. MDXCVI; — Joannis Kepleri astronomi Opera omnia. Band I, p. 112—153.

ihrer Ausdrucksweise — spreche, würden sie seine Theorien als System angesehen haben, das die Himmelsbewegungen beschreibt, und nicht als Lehre über die wahre Natur der astronomischen Phänomene, sie hätten somit seine Ideen nicht der Zensur unterworfen. Wir sind dessen durch einen Brief[1]) sicher, den der Hauptgegner Galileis, der Kardinal Bellarmin am 12. April 1615 an Foscarini schrieb: „Ew. Vaterschaft und Herr Galilei werden weise handeln, wenn sie sich darauf beschränken ex suppositione zu sprechen und nicht absolut, wie es, wie ich glaube, Kopernikus stets getan. In der Tat läßt sich sehr wohl sagen, daß man von allen Erscheinungen viel bessere Rechenschaft gibt, indem man die Erde als beweglich und die Sonne als unbeweglich annimmt, als wenn man exzentrische Kreise und Epizykeln verwendet. Das stellt keine Gefahr dar und genügt dem Mathematiker." An dieser Stelle verwendet Bellarmin die den Scholastikern geläufige Unterscheidung zwischen der physikalischen und der metaphysischen Methode, die für Galilei allerdings nur eine Ausflucht war.

Descartes hat sicher am meisten dazu beigetragen, die Scheidewand zwischen der physikalischen und der metaphysischen Methode zu durchbrechen, und deren Gebiete, die die peripatetische Philosophie reinlich geschieden hatte, zu vereinigen.

Die Methode von Descartes zieht die Prinzipien aller unserer Erkenntnisse in Zweifel und setzt sie diesem methodischen Zweifel bis zu dem Augenblicke aus, in dem er deren Rechtmäßigkeit durch eine lange Kette von Deduktionen, die mit dem berühmten Cogito, ergo sum beginnt, erweisen kann. Es gibt keinen größeren Gegensatz, als den zwischen einer derartigen Methode und der peripatetischen Auffassung. Nach dieser beruht eine Wissenschaft wie die Physik auf selbstverständlichen Prinzipien, deren Wesen die Metaphysik zwar erforschen, deren Sicherheit sie aber nicht zu erhöhen vermag.

Der erste physikalische Satz, den Descartes in Befolgung seiner Methode aufstellt[2]), erfaßt und erläutert das eigentliche

[1]) Grisar, Galilei-Studien, Beilage IX. Regensburg 1882.
[2]) Descartes: Principia Philosophiae, pars. II, 4.

Wesen der Materie. „Die Natur des Körpers besteht nur in seiner Substanz, die nach Länge, Breite und Tiefe ausgedehnt ist." Ist so das Wesen der Materie erkannt, so ist es möglich, nach geometrischem Verfahren aus ihm die Erklärung aller Naturerscheinungen abzuleiten. „Ich lasse in der Physik keine Prinzipien zu", sagt Descartes, indem er die Methode, die er bei der Behandlung dieser Wissenschaft einschlägt, resumiert, „die nicht auch in der Mathematik zulässig sind, um alles, was ich ableite, durch Beweise stützen zu können. Diese Prinzipien genügen, um alle Naturphänomene mit ihrer Hilfe erklären zu können."

Die kühne Formel der cartesianischen Kosmologie ist folgende: Der Mensch kennt das eigentliche Wesen der Materie, das in der Ausdehnung besteht, er kann daher auf logischem Wege alle Eigenschaften der Materie aus ihm ableiten. Die Unterscheidung zwischen der Physik, die die Erscheinungen und deren Gesetze studiert und der Metaphysik, die das Wesen der Materie, insofern es Ursache der Erscheinungen und Grund des Bestehens der Gesetze ist, zu erkennen sucht, wird daher grundlos. Der Verstand geht nicht von der Kenntnis der Erscheinung aus, um sich darauf zur Kenntnis der Materie zu erheben, sondern er kennt zuerst die eigentliche Natur der Materie, aus der sich die Erklärung der Erscheinungen ergibt.

Descartes treibt die Konsequenzen dieses hochfahrenden Prinzipes bis zur Spitze. Er begnügt sich nicht mit der Versicherung, daß alle Naturerscheinungen aus dem einzigen Satze: „Das Wesen der Materie ist die Ausdehnung" abgeleitet werden können, sondern er versucht diese Ableitung im einzelnen durchzuführen. Er versucht die Welt, ausgehend von dieser Definition, aus Gestalt und Bewegung aufzubauen. Und als sein Werk vollendet war, hielt er inne, um es zu betrachten und erklärte, daß es gut sei: „Es gibt keine Erscheinung in der Natur, die nicht in dem, was in dieser Abhandlung erklärt wurde, enthalten wäre." So lautet der Titel eines der letzten Paragraphen[1]) der Prinzipien der Philosophie.

Dennoch scheint Descartes einen Augenblick über die Kühnheit seiner kosmologischen Lehre erschreckt gewesen zu

[1]) Descartes: Principia Philosophiae, pars. IV, 199.

sein und den Versuch unternommen zu haben, sie der peripatetischen näherzubringen. Dies geht aus einem der Abschnitte[1]) des Werkes über die Prinzipien hervor. Wir wollen diesen Abschnitt vollständig zitieren, da er den Gegenstand, der uns beschäftigt, nahe berührt:

„Wenn man auch vielleicht auf diese Weise erkennt, wie alle Naturkörper haben entstehen können, so darf man daraus doch nicht folgern, daß sie wirklich so gemacht worden sind. Denn derselbe Künstler kann zwei Uhren fertigen, die beide die Stunden gleich gut anzeigen und sich äußerlich ganz gleichen, aber innerlich doch aus sehr verschiedenen Verbindungen der Räder bestehen. So hat unzweifelhaft auch der höchste Werkmeister alles Sichtbare auf mehrere verschiedene Weisen hervorbringen können, ohne daß es dem menschlichen Verstande möglich wäre zu erkennen, welches dieser verschiedenen Mittel er tatsächlich angewendet hat. Ich gebe diese Wahrheit bereitwilligst zu und bin zufrieden, wenn nur das, was ich geschrieben habe, derart ist, daß es mit allen Erscheinungen der Natur genau übereinstimmt. Dies wird auch für die Zwecke des Lebens genügen, weil sowohl die Medizin und Mechanik, wie alle anderen Künste, welche der Hilfe der Physik bedürfen, nur das Sichtbare und deshalb zu den Naturerscheinungen Gehörige zu ihrem Ziel haben. Dies kann man aber in gleicher Weise bei Betrachtung der Folgen irgendwelcher ersonnenen Ursachen erreichen, ob sie nun falsch oder richtig, wenn diese Folgen nur denen ähnlich sind, die man an den sichtbaren Erscheinungen erkennt. Und damit niemand glaube, daß Aristoteles mehr geleistet habe oder habe leisten wollen, so erklärt derselbe im I. Buch seiner Meteorologie im Eingang des 7. Kapitels ausdrücklich, daß er über das den Sinnen nicht Wahrnehmbare glaube, genügende Gründe und Beweise beizubringen, sobald er nur zeige, daß das Wahrnehmbare nach seinen Voraussetzungen so hätte entstehen können."

Eine derartige Konzession an die Lehren der Schule steht zu der eigentlichen Methode Descartes in deutlichem Widerspruch. Sie ist auch nur eine der Vorsichtsmaßregeln, die der,

[1]) Descartes: Ibid., pars. IV, 204.

wie man weiß, durch die Verurteilung Galileis heftig erregte Philosoph, gegen die Zensur der Inquisition getroffen. Schließlich scheint aber Descartes selbst gefürchtet zu haben, daß man seine kluge Vorsicht zu ernst nehme und ließ deshalb dem zitierten Abschnitt zwei andere folgen, die folgende Titel tragen: „Man hat wenigstens die moralische Sicherheit, daß alle Dinge dieser Welt so sind, wie sie hier als möglich aufgezeigt wurden." — „Und man hat sogar eine mehr als moralische Sicherheit."

Die Worte: moralische Sicherheit genügen in der Tat nicht, um den unbegrenzten Glauben, den Descartes zu seiner Methode hegte, auszudrücken. Er glaubte nicht nur eine befriedigende Erklärung aller Naturerscheinungen gegeben zu haben, sondern er dachte auch, daß sie die einzig mögliche sei, und daß er sie mathematisch beweisen könne. „Über die Physik," schrieb[1]) er am 11. März 1640 an Mersenne, „würde ich nichts zu wissen glauben, wenn ich nur zu sagen wüßte, wie die Dinge sein können, nicht aber beweisen, daß sie nicht anders sein können. Da ich alles auf Gesetze der Mathematik zurückgeführt habe, ist dies auch möglich, und ich glaube dies an allem, was ich kenne, durchführen zu können, obwohl ich es weder in meinen Essais, in denen ich nicht meine Prinzipien auseinandersetzen wollte, getan, noch bis jetzt einen Anlaß sehe, der mich verlocken würde, es in Zukunft zu tun."

Dieses hochmütige Vertrauen zu der unbegrenzten Macht der metaphysischen Methode war wohl geeignet, auf den Lippen Pascals ein verächtliches Lächeln hervorzurufen. Welche Tollheit ist es, ganz abgesehen von der Zuverlässigkeit der Annahme, daß die Materie nur in der Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe besteht, aus ihr die Erklärung der Welt im einzelnen ableiten zu wollen. „Man kann im großen und ganzen sagen: Dies vollzieht sich durch Gestalt und Bewegung, denn dies ist wahr. Wenn man aber sagen will, in welcher Art sich

[1]) Descartes: Oeuvres, édition P. Tannery et Ch. Adam, Correspondance t. III, p. 39.

[2]) Pascal: Pensées, édition Havet, art. 24. Diesem Gedanken sind folgende Worte vorangestellt: „Geschrieben gegen diejenigen, die die Wissenschaften zu sehr vertiefen. Descartes."

dies vollzieht, und wenn man das Weltgebäude zusammensetzen will, so ist dies lächerlich, denn es ist unnütz, ungewiß und schwierig."

Der berühmte Nacheiferer Pascals, Christiaan Huygens, zeigt nicht dieselbe Strenge gegenüber der Methode, die aus kosmologischen Prinzipien die Erklärung der Naturerscheinungen ableiten will. Sicherlich scheinen ihm die Erklärungen von Descartes in mehr als einem Punkte unhaltbar, aber nur weil seine Kosmologie, die die Materie auf die Ausdehnung zurückführt, nicht die gesunde Naturphilosophie ist. Diese besteht in der Physik der Atomisten. Man kann hoffen, aus dieser die Erklärung der Naturerscheinungen, wenn auch mit großen Schwierigkeiten, abzuleiten.

„Herr Descartes[1]) hat besser als irgendeiner seiner Vorgänger erkannt, daß man in der Physik nur so weit Nützliches begreifen wird, als man sie auf Prinzipien zurückführen kann, die nicht über den Bereich unseres Verstandes hinausgehen. Solche sind diejenigen, die von qualitätslosen Körpern und deren Bewegungen abhängen. Da aber die größte Schwierigkeit darin besteht, aufzuzeigen, in welcher Weise soviele verschiedene Dinge durch diese wenigen Prinzipien ins Werk gesetzt werden, ist es nicht merkwürdig, daß er in mehreren speziellen Fragen, deren Prüfung er beabsichtigte, keinen Erfolg hatte. Zu diesen gehört unter anderen, nach meiner Meinung, das Problem der Schwere. Man wird darüber auf Grund der Bemerkungen, die ich an einigen Stellen über das mache, was er in dieser Beziehung geschrieben hat, urteilen können. Ich hätte deren noch mehrere hinzuzufügen vermocht. Trotzdem bekenne ich, daß seine Versuche und seine Ansichten, obgleich sie falsch sind, mir den Weg, zu dem, was ich in der gleichen Sache gefunden, geebnet haben."

„Ich stelle dies nicht als über allen Zweifel erhaben hin, noch als etwas, wogegen man keine Einwände machen könnte. Es ist zu schwierig, bei Unternehmungen dieser Art so weit zu kommen. Ich glaube aber, daß, wenn die Grundannahme, auf

[1]) Christiaan Huygens: Discours de la cause de la Pesanteur. Leyde 1690.

die ich mich stütze, nicht die richtige ist, wenig Hoffnung vorhanden bleibt, daß man sie innerhalb der Grenzen der wahren und gesunden Philosophie finden wird."

In der Zeit zwischen dem Augenblick, in dem Huygens seinen Discours de la cause de la Pesanteur der Akademie der Wissenschaften in Paris vorlegte und demjenigen, in dem er ihn drucken ließ, erschien das unsterbliche Werk Newtons: Philosophiae naturalis principia mathematica. Mit diesem Werk, das die Mechanik des Himmels umbildete, traten auch neue Ansichten über das Wesen der physikalischen Theorien ins Leben, die denen von Descartes und Huygens vollständig entgegengesetzt waren.

Was Newton über den Bau der physikalischen Theorien denkt, sagt er an mehreren Stellen seiner Werke mit aller Klarheit.

Das aufmerksame Studium der Erscheinungen und ihrer Gesetze ermöglicht dem Physiker auf Grund der ihm eigentümlichen induktiven Methode, einige sehr allgemeine Prinzipien zu entdecken, aus denen alle Erfahrungstatsachen abgeleitet werden können. In dieser Art sind alle Himmelserscheinungen in dem Prinzip der allgemeinen Gravitation kondensiert.

Eine derartige kondensierte Beschreibung ist keine Erklärung. Die gegenseitige Anziehung, die die Mechanik des Himmels zwischen zwei beliebigen Teilen der Materie annimmt, ermöglicht es, alle Himmelsbewegungen der Rechnung zu unterwerfen, aber die eigentliche Ursache dieser Anziehung wird dadurch nicht bloßgelegt. Muß man in ihr eine grundlegende und unauflösbare Eigenschaft der Materie sehen? Muß man sie, was Newton in gewissen Epochen seines Lebens für wahrscheinlich hielt, als Wirkung der Stöße eines besonderen Äthers betrachten? Schwierige Fragen, deren Lösung höchstens in der Zukunft erhalten werden kann! Diese Untersuchung ist aber auf jeden Fall Aufgabe des Philosophen und nicht des Physikers. Was deren Ergebnis auch sein möge, die vom Physiker aufgestellte beschreibende Theorie wird ihren vollen Wert behalten.

Die Lehre, die das Scholium generale, das den Schluß des Werkes über die Philosophiae naturalis principia bildet, in wenig Worten formuliert, ist folgende:

„Bis hierher habe ich die Erscheinungen, die der Himmel und unsere Meere aufweisen, auf Grund der Schwerkraft dargestellt, aber ich habe noch nicht die Ursache dieser Schwere angegeben. Sicherlich geht diese Kraft aus einer Ursache hervor, die bis ins Zentrum der Sonne und der Planeten dringt, ohne daß ihre Stärke vermindert würde. Sie betätigt sich nicht proportional zur Oberfläche der festen Teilchen, auf die sie ihre Wirkung ausübt, wie die gewöhnlichen mechanischen Ursachen, sondern proportional zu deren Volumen. Ihre Wirkung erstreckt sich nach allen Richtungen in riesige Entfernungen, wobei sie stets in umgekehrtem Verhältnis des Quadrates der Entfernung abnimmt. Die Schwere gegen die Sonne ist aus den verschiedenen Schwerkräften, die auf die einzelnen kleinen Teilchen der Sonne wirken, zusammengesetzt und sie nimmt bei Entfernung von der Sonne bis zur Bahn des Saturns, wie es die Unveränderlichkeit der Aphelien der Planeten zeigt, und bis zu den äußersten Aphelien der Kometen, wenn überhaupt diese Aphelien unveränderlich sind, im quadratischen Verhältnis des Abstandes ab. Aber bis jetzt habe ich aus den Erscheinungen den Grund dieser Eigenschaften der Schwere nicht ableiten können, und Hypothesen mache ich nicht. Denn alles, was nicht aus den Erscheinungen abgeleitet wird, muß als Hypothese bezeichnet werden. Für Hypothesen, ob sie nun metaphysisch oder physikalisch seien, ob sie verborgene oder mechanische Ursachen zu Hilfe nehmen, ist kein Platz in der Erfahrungswissenschaft (Philosophia experimentalis). In dieser Wissenschaft werden die Lehrsätze aus den Erscheinungen abgeleitet und durch Induktion generalisiert. In dieser Art hat man die Undurchdringlichkeit, die Beweglichkeit, die lebendige Kraft der Körper, sowie die Gesetze der Bewegungen und der Schwere erkannt. Es genügt, daß diese Schwere wirklich existiert, daß sie gemäß den Gesetzen, die wir dargelegt haben, wirkt und allen Bewegungen der Himmelskörper und unseres Meeres entspricht."

Später spricht Newton — in der berühmten XXXI. Frage, die die zweite Ausgabe seiner Optik abschließt — wieder seine Meinung über die physikalischen Theorien mit aller Schärfe

aus. Er bezeichnet die ökonomische Kondensation als deren Ziel: „Wenn man uns sagt, daß jede Art von Dingen mit einer besonderen geheimen Eigenschaft begabt sei, durch die sie wirkt und sichtbare Wirkungen hervorbringt, so ist damit gar nichts gesagt. Wenn man aber zwei oder drei allgemeine Prinzipien der Bewegung aus den Erscheinungen ableiten und hernach uns zeigen würde, wie die Eigenschaften und Wirkungen aller körperlichen Dinge sich aus diesen offenkundigen Prinzipien ergeben, so würde dies einen sehr großen Fortschritt in der Philosophie bedeuten, wenn auch die Ursachen dieser Prinzipien noch nicht entdeckt wären. Darum zögere ich nicht die Prinzipien der Bewegung aufzustellen, während ich die Forschung nach ihren Ursachen vollständig beiseite lasse."

Diejenigen, welche die hochmütige Zuversicht der Cartesianer und Atomisten teilten, konnten nicht dulden, daß man den Ansprüchen der theoretischen Physik so bescheidene Grenzen setze. Die Beschränkung auf die mathematische Darstellung der Erscheinungen hieß nach ihrer Meinung in der Erkenntnis der Natur nicht vordringen. Wer sich mit einem so nichtigen Fortschritt zufrieden gab, verdiente nichts besseres als mit Sarkasmus behandelt zu werden.

„Ich glaube, daß es nicht unangebracht sei," sagt ein Cartesianer[1]), „bevor von den aufgestellten Prinzipien Gebrauch gemacht wird, eine Prüfung derjenigen vorzunehmen, die Herr Newton als Grundlage seines Systems verwendet. Dieser neue Philosoph, der durch das außerordentliche Wissen, das er in der Geometrie erworben, sich bereits berühmt gemacht hat, erduldete es nur schwer, daß eine der seinigen fremde Nation auf einen Besitz pochen sollte, auf Grund dessen sie die anderen lehren und ihnen als Vorbild dienen konnte. Aufgestachelt durch einen edlen Wetteifer und geleitet von der Überlegenheit seines Genius dachte er nur mehr daran, sein Vaterland aus der Not, in der er es zu sehen glaubte, zu befreien. Es sollte in Zukunft nicht mehr nötig haben, bei uns die Kunst zu entlehnen,

[1]) De Gamaches: Principes généraux de la Nature appliqués au mécanisme astronomique et comparés aux principes de la Philosophie de M. Newton. Paris 1740. p. 67.

wie die Vorgänge in der Natur geklärt und wie sie in ihren Wirkungen verfolgt werden können. Das war aber noch nicht genug für ihn. Als Feind jedes Zwanges und im Gefühl, daß die Physik ihn ohne Unterlaß stören würde, verbannte er sie aus der Philosophie. Aus Furcht, daß er manchmal gezwungen sein würde, ihre Hilfe in Anspruch zu nehmen, bemühte er sich, die innersten Ursachen jeder einzelnen Erscheinung in Grundgesetzen festzuhalten. Dadurch war jede Schwierigkeit beseitigt. Seine Arbeit betraf nur mehr leicht behandelbare Gegenstände, die er seinen Rechnungen unterwerfen konnte. Ein Phänomen, das mathematisch analysiert war, betrachtete er als erklärt. So hatte dieser berühmte Rivale des Herrn Descartes bald die seltene Befriedigung, als großer Philosoph betrachtet zu werden, und zwar einzig und allein deshalb, weil er ein großer Mathematiker war."

„... Ich komme nun[1]) auf das zurück, was ich eingangs vorgebracht habe und ziehe den Schluß, daß nichts leichter ist, als nach der Methode des großen Mathematikers den Mechanismus der Natur auseinanderzusetzen. Wollen Sie den Grund einer komplizierten Erscheinung angeben? Legen Sie sie mathematisch dar und Sie haben alles Nötige geleistet, denn die Schwierigkeiten, die für den Physiker noch übrig bleiben könnten, werden sicherlich entweder von einem Grundgesetz oder einer besonderen Bestimmung abhängig sein."

Nicht alle Schüler Newtons bewahrten übrigens die kluge Zurückhaltung ihres Meisters. Manche konnten nicht in den engen Grenzen, die ihnen seine Methode der Physik anwies, bleiben. Indem sie diese Grenzen überschritten, versicherten sie, als Metaphysiker, daß die gegenseitigen Anziehungen wirkliche und grundlegende Eigenschaften der Materie seien, und daß eine Erscheinung, die auf diese Anziehungen zurückgeführt worden ist, wirklich erklärt sei. Diese Meinung äußerte auch Roger Cotes in der berühmten Einleitung, die er an der Spitze der zweiten Ausgabe der Prinzipia Newtons veröffentlichte. Auch die von Boscovich entwickelte Lehre, die vielfach die Leibnizsche Metaphysik beeinflußte, war von dieser Art.

[1]) De Gamaches: loc. cit. p. 81.

Dennoch haben viele, die nicht weniger berühmt sind, das Newtonsche Werk fortgesetzt und sich an die Methode, die ihr berühmter Vorgänger so gut dargelegt hatte, gehalten.

Laplace bekennt sein vollstes Vertrauen zu dem Anziehungsprinzip. Dieses Vertrauen ist indessen nicht blind. An einigen Stellen der Exposition du système du monde deutet er an, daß die allgemeine Anziehung, die in der Form der Gravitation oder der molekularen Anziehung alle Naturerscheinungen verknüpft, vielleicht nicht die letzte Erklärung sei, daß sie selbst von einer tieferen Ursache abhängen könne. Diese Ursache scheint Laplace allerdings in ein unerkennbares Gebiet zu verweisen. Jedenfalls erkennt er aber mit Newton, daß die Forschung nach dieser Ursache, falls sie überhaupt möglich ist, ein vollständig getrenntes Problem gegenüber jenen bildet, die die astronomischen und physikalischen Theorien lösen können. „Ist dieses Prinzip," sagt er[1]), „ein Grundgesetz der Natur? Ist es nicht nur eine allgemeine Wirkung einer unbekannten Ursache? Hier versperrt uns die Unwissenheit, in der wir uns über die innersten Eigenschaften der Materie befinden, den Weg, und raubt uns alle Hoffnung, daß wir eine befriedigende Antwort auf diese Fragen finden werden." — „Ist das Prinzip der allgemeinen Schwere," sagt er nochmals[2]), „ein Grundgesetz der Natur oder ist es nur eine allgemeine Wirkung einer unbekannten Ursache? Kann man nicht auf dieses Prinzip das der chemischen Verwandtschaft zurückführen? Newton, der vorsichtiger als viele seiner Schüler war, hat sich nicht über solche Fragen, auf die, bei unserer Unkenntnis über die Eigenschaften der Materie, eine befriedigende Antwort ausgeschlossen ist, geäußert."

Ampère, der ein tieferer Philosoph gewesen als Laplace, erkennt mit voller Klarheit, welchen Vorteil es gewährt, eine physikalische Theorie von jeglicher metaphysischer Erklärung unabhängig zu machen. Dadurch entzieht man sie in der Tat dem Streit, der die verschiedenen kosmologischen Schulen scheidet und macht sie Denkern, die sich zu unvereinbaren

[1]) Laplace: Exposition du système du monde, l. IV, c. XVII.
[2]) Idem: Ibid., l. V, c. V.

philosophischen Meinungen bekennen, gleichzeitig annehmbar. Man ist dabei weit entfernt, die Forschungen jener, die eine Erklärung der Erscheinungen geben wollen, zu hemmen, man erleichtert ihnen vielmehr ihre Arbeit. Man kondensiert die unzähligen Erfahrungstatsachen, von denen sie Rechenschaft geben wollen, in eine kleine Zahl sehr allgemeiner Sätze, so daß die Erklärung jener wenigen Sätze genügt, damit die ungeheure Gesamtheit der Erfahrungstatsachen nichts Geheimnisvolles mehr enthalte.

„Der Hauptvorteil[1]) der Formeln, die so unmittelbar aus gewissen Tatsachen gefolgert werden, die durch eine so große Zahl von Beobachtungen gegeben sind, daß sie nicht in Zweifel gezogen werden können, besteht darin, daß sie in gleicher Weise von den Hypothesen unabhängig sind, deren sich ihre Urheber bei der Forschung nach diesen Formeln bedient haben, als auch von denen, die ihnen später unterlegt werden können. Der Ausdruck für die allgemeine Anziehung, der aus den Keplerschen Gesetzen abgeleitet ist, hängt nicht von den Hypothesen über eine mechanische Ursache, die ihr manche Autoren zuzuweisen wünschten, ab. Die Theorie der Wärme ruht wirklich auf den allgemeinen Tatsachen, die unmittelbar durch die Beobachtung gegeben sind. Die aus diesen Tatsachen abgeleitete Gleichung, die durch die Übereinstimmung der Resultate, die man aus ihr ableitet, mit denen, die die Erfahrung ergibt, bestätigt wird, kann gleicherweise als Ausdruck der wirklichen Gesetze der Wärmefortpflanzung von denen aufgefaßt werden, die sie einer Strahlung der wärmeerzeugenden Moleküle zuschreiben, als von denen, die, um die gleiche Erscheinung zu erklären, auf die Schwingungen eines im Raume verbreiteten Fluidums rekurrieren. Der Unterschied besteht nur darin, daß die ersteren zeigen müssen, wie die Gleichung, um die es sich handelt, aus ihren Ansichten hervorgeht, während die letzteren dieselben aus den allgemeinen Formeln der Schwingungsbewegungen ableiten. Sie müssen dies nicht tun,

[1]) André-Marie Ampère: Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience. Édition Herrmann, p. 3.

um die Sicherheit dieser Gleichung zu erhöhen, sondern damit ihre diesbezüglichen Hypothesen fortbestehen können. Der Physiker, der in dieser Beziehung nicht Partei ergriffen hat, läßt diese Gleichung als genaue Beschreibung der Tatsachen gelten, ohne sich über die Art, wie sie aus der einen oder der anderen der Erklärungen, von denen wir sprachen, folgen kann, zu beunruhigen."

Auch Fourier teilt in betreff der Wärmetheorie die Gedanken Ampères. In dem Vorwort, das sein unsterbliches Werk[1]) einleitet, drückt er sich folgendermaßen aus:

„Von den letzten Ursachen der Erscheinungen ist uns nichts bekannt, wir wissen aber, daß alle Naturprozesse einfachen und unveränderlichen Gesetzen unterworfen sind, die man durch Beobachtung klarzulegen vermag. Das Studium derselben ist die Aufgabe der physikalischen Wissenschaften."

„Ich werde es in diesem Werke mit einem besonderen Teile dieser Wissenschaften zu tun haben, mit dem, der sich auf die Wärme bezieht, des Agens, das wie die Schwere durch alle Substanzen des Weltalls dringt, dessen Strahlen alle Teile des Raumes erfüllen. Ich habe mir vorgenommen, in diesem Werk die mathematischen Gesetze, welchen die Verbreitung der Wärme gehorcht, zu entwickeln, und glaube, daß die nachfolgende Theorie einen der wichtigsten Zweige der ganzen Physik ausmachen wird."

„.... Die Prinzipien dieser Theorie habe ich nach dem Muster der rationellen Mechanik aus einer sehr geringen Anzahl fundamentaler Tatsachen abgeleitet, bei denen die Mathematiker nicht nach dem Grund fragen, weil sie sie als Resultate der gewöhnlichsten Beobachtungen betrachten, die bei jedem diesbezüglichen Experimente sich immer in derselben Weise geltend machen."

Ebensowenig wie Ampère oder Fourier bezeichnet Fresnel die metaphysische Erklärung der wahrnehmbaren Erscheinungen als Ziel der Theorie. Er sieht in dieser, da sie eine zusammengefaßte und klassifizierte Darstellung unserer experimentellen

[1]) Fourier: Théorie analytique de la chaleur. Édition Darboux, p. XV et p. XXI. (Deutsche Ausgabe von Weinstein, p. VII u. p. XII.)

Erkenntnisse ist, ein mächtiges Hilfsmittel für Neuerforschungen: „Es ist nicht unnütz[1]), die Tatsachen unter demselben Gesichtspunkt zu vereinigen, indem man sie an eine kleine Zahl allgemeiner Prinzipien anknüpft. Dies ist ein Mittel, um die Gesetzmäßigkeiten leichter zu erfassen, und ich denke, daß die Bemühungen dieser Art ebensoviel als die Beobachtungen selbst zum Fortschritt der Wissenschaft beitragen können."

Die rasche Entwicklung der Thermodynamik in der Mitte des XIX. Jahrhunderts brachte die Annahmen über die Natur der Wärme, die zuerst Descartes formuliert hatte, wieder in Mode. Die cartesianischen und atomistischen Ansichten erlangten scheinbar wieder Lebensfähigkeit, und die Hoffnung, erklärende physikalische Theorien aufbauen zu können, gewann in den Gedanken mehr als eines Physikers Raum.

Einige der Schöpfer der neuen Lehre und nicht die geringsten ließen sich aber nicht von dieser Hoffnung benebeln. Unter diesen, und zwar in erster Linie, muß man Robert Mayer anführen. „Was Wärme, was Elektrizität usw.," schrieb Robert Mayer an Griesinger[2]), „dem inneren Wesen nach sei, weiß ich nicht, so wenig als ich das innere Wesen einer Materie oder irgendeines Dinges überhaupt kenne."

Die ersten Beiträge, die Macquorn Rankine für den Fortschritt der mechanischen Wärmetheorie beisteuerte, waren Erklärungsversuche. Aber bald entwickelten sich seine Ideen weiter. Er charakterisierte nun in einer kleinen, zu wenig bekannten Schrift[3]) mit wunderbarer Klarheit den Unterschied zwischen einer beschreibenden Theorie — er nennt sie abstrakte Theorie — und einer erklärenden —, die er als hypothetische Theorie bezeichnet.

Führen wir einige Stellen dieses Werkes an:

„Es ist nötig, im Prozeß, durch den unsere Kenntnis der

[1]) A. Fresnel: Oeuvres complètes, t. I, p. 480.

[2]) Robert Mayer: Kleinere Schriften und Briefe, p. 181. Stuttgart 1893.

[3]) J. Macquorn Rankine: Outlines of the Science of Energetics, vorgetragen in der Philosophical Society zu Glasgow am 2. Mai 1855 und veröffentlicht in The Edinburgh New Philos. Journ. Vol. II (New series) p. 120. 1855. — Ebenso: Rankine, Miscellaneous scientific Papers, p. 209.

physikalischen Gesetze fortschreitet, zwei Stufen zu unterscheiden. Die erste Stufe besteht in der Beobachtung der Beziehungen, die zwischen den Erscheinungen bestehen, wie sie uns in Naturprozessen entgegentreten oder wie sie künstlich bei Experimentaluntersuchungen hergestellt werden, und in der Formulierung dieser derartig beobachteten Beziehungen in Lehrsätzen, die man formale Gesetze nennt. Die zweite Stufe besteht in der Zusammenfassung der formalen Gesetze einer ganzen Erscheinungsklasse zu wissenschaftlicher Gestalt, d. h. in der Forschung nach dem einfachsten System von Prinzipien, aus dem alle formalen Gesetze dieser Erscheinungsklasse als Konsequenzen abgeleitet werden können."

„Ein derartiges System von Prinzipien bildet im Verein mit den aus ihnen ordnungsgemäß abgeleiteten Konsequenzen die physikalische Theorie einer Erscheinungsklasse."

„Man kann zwei Methoden des Aufbaues einer physikalischen Theorie unterscheiden, die im wesentlichen durch die Art, wie die Erscheinungsklassen definiert werden, charakterisiert sind. Sie sollen entsprechend als abstrakte und hypothetische Methode bezeichnet werden."

„Gemäß der abstrakten Methode erfolgt die Definition einer Klasse von Objekten oder Erscheinungen durch Beschreibung oder eine andere Art der Darstellung derjenigen Gruppe von Eigenschaften, die allen Objekten oder allen Erscheinungen, die diese Klasse bilden, gemeinsam ist, wobei sie so betrachtet werden, wie die Sinne sie uns zeigen und nichts Hypothetisches eingeführt wird. Jeder dieser Eigenschaften wird ein Name oder ein Symbol zugewiesen."

„Gemäß der hypothetischen Methode erfolgt die Definition einer Klasse von Objekten oder Erscheinungen aus einer mutmaßlichen Auffassung über deren Natur, wobei man sich vorstellt, daß sie in einer sinnlich nicht wahrnehmbaren Art als Modifikation irgendeiner anderen Klasse von Objekten oder Erscheinungen, deren Gesetze bereits bekannt sind, konstituiert seien. Wenn die Konsequenzen einer derartigen hypothetischen Definition mit den Resultaten der Beobachtung und des Experimentes in Einklang stehen, kann sie dazu dienen, die

Gesetze einer Klasse von Objekten oder Erscheinungen aus den entsprechenden Gesetzen einer anderen Klasse abzuleiten." In dieser Art würde man zum Beispiel die Gesetze des Lichtes oder der Wärme aus der Mechanik ableiten."

Rankine meint, daß die hypothetischen Theorien nach und nach durch die abstrakten Theorien ersetzt werden. Er denkt jedoch, „daß eine hypothetische Theorie als erste Stufe notwendig sei, um Einfachheit und Ordnung in die Darstellung der Erscheinungen zu bringen, was geschehen muß, bevor es möglich ist, irgendeinen Erfolg bei dem Bau einer abstrakten Theorie zu erreichen". Wir haben im vorangehenden Paragraphen gesehen, daß diese Behauptung in der Geschichte der physikalischen Theorien keineswegs Bestätigung findet, und wir werden im Kapitel IV, § 9 nochmals Gelegenheit haben, sie zu diskutieren.

In der Mitte des XIX. Jahrhunderts haben die hypothetischen Theorien, die sich als mehr oder minder wahrscheinliche Erklärungen der Erscheinungen gebärden, eine außerordentliche Vermehrung erfahren. Der Lärm ihrer Kämpfe und das Getöse bei ihrem Untergang haben die Physiker ermüdet und haben sie nach und nach zu den gesunden Lehren, denen Newton mit so großer Kraft Ausdruck gegeben hat, zurückgeführt. Hr. Ernst Mach[1]) hat, indem er an die unterbrochene Tradition wieder anknüpfte, die physikalische Theorie als eine abstrakte und kondensierte Beschreibung der Naturerscheinungen definiert, G. Kirchhoff[2]) bezeichnete als Aufgabe der Mechanik „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben".

Wenn auch einige sehr große Physiker auf die Möglichkeiten, die die von ihnen angewendete Methode eröffnet, so stolz

[1]) E. Mach: Die Gestalten der Flüssigkeit. Prag 1872. — Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. Wien 1882. — Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1883. Das letztere Werk wurde von Hrn. Bertrand unter dem Titel: La Mécanique; exposé historique et critique de son développement, Paris 1904, ins Französische übertragen.

[2]) G. Kirchhoff: Vorlesungen über mathematische Physik; Mechanik. Leipzig 1874, p. 1.

wurden, daß sie deren Tragweite überschätzten und annahmen, daß ihre Theorien die metaphysische Natur der Dinge bloßlegen könnten, so sind doch viele Forscher, die unsere Bewunderung erregen, bescheidener und weitblickender gewesen. Sie haben erkannt, daß die physikalische Theorie keine Erklärung sei, sie haben in ihr eine vereinfachte und geordnete Beschreibung gesehen, die die Gesetze in einer immer vollkommeneren, immer naturgemäßeren Klassifikation gruppiert.

Viertes Kapitel.

Die abstrakten Theorien und die mechanischen Modelle.[1])

§ 1. — Zwei Arten Denker: Umfassende Denker und tiefe Denker.

Jede physikalische Theorie geht aus einer zweifachen Arbeit hervor: der Abstraktion und der Generalisation.

In erster Instanz analysiert der Verstand eine ungeheure Zahl von verschiedenen, konkreten, verwickelten Einzeltatsachen. Das, was er in ihnen als gemeinsam und wesentlich erkennt, faßt er in einem Gesetz zusammen, d. h. in einem Lehrsatz, der abstrakte Begriffe verbindet.

In zweiter Instanz betrachtet er eine ganze Gruppe von Gesetzen; diese Gruppe ersetzt er durch eine ganz kleine Zahl außerordentlich allgemeiner Urteile, die auf einigen sehr abstrakten Begriffen beruhen; er wählt diese grundlegenden Eigenschaften, er formuliert diese fundamentalen Hypothesen in der Art, daß auf Grund einer zwar vielleicht recht langen, aber sehr sicheren Deduktion aus ihnen alle Gesetze abgeleitet werden können, welche zu der Gruppe gehören, die ihn beschäftigt. Dieses System von Hypothesen und aus ihnen sich ergebenden Folgerungen — ein Werk der Abstraktion,

[1]) Die in diesem Kapitel auseinandergesetzten Gedanken sind die Erweiterung eines „l'École anglaise et les Théories physiques" betitelten Artikels, welcher im Oktober 1893 in der „Revue des Questions scientifiques" erschien.

Generalisation und Deduktion — bildet die physikalische Theorie, wie wir sie definiert haben; sie verdient sicher das Epitheton einer abstrakten Theorie, mit welchem Rankine sie belegt.

Die zweifache Arbeit der Abstraktion und Generalisation, durch welche eine Theorie gebildet wird, schafft, wie wir ausgeführt haben[1]), eine zweifache Gedankenökonomie, sie ist ökonomisch, indem sie ein einziges Gesetz an Stelle vieler Tatsachen setzt, sie ist es außerdem, indem sie eine kleine Zahl von Hypothesen an Stelle einer großen Gruppe von Gesetzen setzt.

Werden aber auch alle jene, die über die Methoden der Physik Betrachtungen anstellen, mit uns einverstanden sein, wenn wir einer abstrakten Theorie diesen zweifach ökonomischen Charakter zubilligen?

Für viele Menschen ist die Aufgabe unlösbar oder wenigstens äußerst schwierig, sich eine sehr große Zahl von Dingen in der Vorstellung so vor Augen zu halten, daß sie alle auf einmal in ihrer verwickelten Gruppierung erfaßt werden, daß also nicht eines nach dem andern willkürlich aus dem realen Zusammenhang gerissen, zur Betrachtung kommt. Eine Menge von unterschiedslos aufgeführten Tatsachen, die keine Klassifikation gruppiert, die kein System verbindet oder einander unterordnet, erscheint ihnen als Chaos, das ihre Vorstellung erstarren macht, als Labyrinth, in dem sich ihr Verstand verliert. Hingegen erfassen sie ohne Mühe einen Gedanken, den die Abstraktion von allem, was das gute Gedächtnis anregt, befreit hat, sie erfassen klar und vollständig den Sinn eines Urteils, der solche Gedanken verbindet, sie sind fähig, ohne Ermüdung oder Schwäche eine Überlegung, die derartige Urteile zur Grundlage hat, bis in ihre letzten Konsequenzen zu verfolgen. Bei solchen Menschen ist die Fähigkeit, abstrakte Gedanken zu erfassen und zu durchdenken, besser entwickelt als die, sich konkrete Gegenstände vorzustellen.

Für diese abstrakten Denker bildet die Zurückführung der Tatsachen auf Gesetze ebenso wie die Zurückführung der

[1]) Kapitel II, § 2.

Gesetze auf Theorien wirklich eine Ökonomie des Denkens. Eine jede dieser beiden Operationen vermindert in hohem Grade die Mühe, die ihr Verstand auf sich nehmen muß, um zur Erkenntnis der Physik vorzudringen.

Aber nicht alle ausgebildeten Denker sind abstrakte Denker.

Es gibt solche, die eine außerordentliche Veranlagung haben, sich in der Vorstellung eine verwickelte Gruppierung ungleichartiger Dinge zu vergegenwärtigen. Sie erfassen sie mit einem Blick, ohne ihre Aufmerksamkeit zuerst auf einen, dann auf den andern Gegenstand richten zu müssen. Und zudem ist dieser Überblick nicht unsicher und verwirrt, sondern bestimmt und genau, so daß jede Einzelheit an ihrem Platz und in der ihr zukommenden Bedeutung klar erkannt wird.

Aber dieses geistige Vermögen ist an eine Bedingung geknüpft: Die Gegenstände, mit denen es sich befaßt, müssen in das Gebiet der Wahrnehmungen fallen, müssen angefaßt oder gesehen werden können. Die Denker, die es besitzen, bedürfen bei der geistigen Arbeit der Unterstützung eines guten Gedächtnisses. Der abstrakte Gedanke, der von allem entkleidet ist, was dieses Gedächtnis vorzustellen vermag, scheint ihnen wie ein ungreifbarer Nebel zu entschwinden. Ein allgemeines Urteil klingt für sie wie eine leere sinnlose Formel. Eine lange und strenge Deduktion erscheint ihnen wie das eintönige Klappern einer Mühle, deren Mühlsteine sich unaufhörlich drehen und die doch nichts als Luft zermahlen. Diese Denker sind zwar mit einer starken Vorstellungskraft begabt, zu Abstraktionen und Deduktionen dagegen schlecht gerüstet.

Wird solchen phantasievollen Denkern der Aufbau einer abstrakten physikalischen Theorie als Ökonomie des Denkens erscheinen? Sicherlich nicht. Sie werden in ihr wohl viel eher eine Arbeit sehen, deren Mühseligkeit ihnen weniger zweifelhaft erscheint als deren Nutzen, so daß sie sich sicher ihre physikalischen Theorien nach einem ganz anderen Typus bilden werden.

Die physikalische Theorie, wie wir sie aufgefaßt haben, wird daher nur von den abstrakten Denkern ohne weiteres als die geeignete Gestalt, in der die Natur dargestellt werden soll,

angesehen werden. Pascal vergißt nicht in dem Fragment[1]), in dem er so deutlich die zwei Arten Denker, die wir unterscheiden, charakterisiert, dies zu bemerken:

„Es gibt verschiedene Arten des geraden Sinnes, manche denken in einer Art von Dingen Ungereimtes und nicht in der andern. Manche leiten von wenigen Prinzipien Folgerungen ab, das ist eine Geradheit des Sinnes. Die anderen leiten Folgerungen aus Dingen ab, die viele Prinzipien einschließen. Zum Beispiel begreifen einige die Wirkungen des Wassers, in denen es wenige Prinzipien gibt, deren Folgerungen aber so fein sind, daß nur außerordentlich strenges Denken bis zu ihnen dringen kann. Diese Menschen würden vielleicht nicht groß in der Geometrie sein, weil die Geometrie eine große Zahl von Grundsätzen in sich faßt und die Natur eines Verstandes so sein kann, daß er wenige Grundsätze bis auf die Wurzel ergründet, daß er aber keineswegs in solche Gegenstände eindringen kann, die viele Grundsätze in sich zusammenfassen."

„Es gibt daher zwei Arten des menschlichen Geistes, die eine dringt lebhaft und tief in die Folgerungen der Prinzipien, das ist richtiger Verstand, die andere umfaßt eine große Zahl von Prinzipien, ohne sie zu verwirren, das ist geometrischer Geist. In einem liegt Stärke und Richtigkeit des Verstandes, im anderen Weite. Es kann nun das eine ohne das andere sein, der Verstand kann stark und begrenzt oder auch umfassend und schwach sein."

Die abstrakte physikalische Theorie, wie wir sie definiert haben, wird sicher die starken aber begrenzten Denker auf ihrer Seite haben, dagegen muß sie sich gefaßt machen, daß sie von den umfassenden aber schwachen Denkern verworfen werde. Da wir nun die Weite des Denkens zu bekämpfen haben werden, lernen wir sie vor allen gut kennen.

§ 2. — Ein Beispiel umfassenden Geistes. Der Geist Napoleons.

Ein Zoologe, der ein bestimmtes Organ studieren will, ist hocherfreut, wenn er ein Tier auffindet, bei dem dieses

[1]) Pascal: Pensées, édition Havet, art. VII, 2.

Organ eine außergewöhnliche Entwicklung erlangt hat, weil er an einem solchen die verschiedenen Teile leichter zergliedert, seinen Bau deutlicher sieht und seine Tätigkeit leichter begreift. Ebenso wird dem Psychologen, der eine gewisse Eigenschaft untersuchen will, gedient sein, wenn er auf ein Wesen stößt, das diese Eigenschaft in hervorragendem Maße besitzt.

Nun zeigt uns die Geschichte einen Mann, bei dem die Denkart, die Pascal als Weite und Schwäche des Denkens bezeichnet, bis zu einer geradezu ungeheueren Stufe entwickelt war. Dieser Mann war Napoleon.

Man lese wieder nach, wo Taine[1]) so plastisch und so sorgsam mit Urkunden belegt das Bild vom Geiste Napoleons zeichnet! Man wird daran sofort folgende zwei wesentlichen Charakterzüge erkennen, die so auffallend sind, daß sie auch dem ungeübtesten Blick nicht entgehen können: Einerseits eine außergewöhnliche Fähigkeit, sich eine äußerst komplizierte Gesamtheit von Gegenständen im Verstande zu vergegenwärtigen, vorausgesetzt, daß diese Gegenstände den Sinnen zugänglich sind, daß sie Gestalt und Farbe in der Vorstellung annehmen können; andererseits eine Unfähigkeit zur Abstraktion und Verallgemeinerung, die bis zum tiefen Widerwillen gegen diese geistigen Operationen steigt.

Reine Gedanken, die aus der Verkleidung der besonderen und konkreten Details, die sie sichtbar und greifbar machen, herausgeschält sind, werden vom Geiste Napoleons nicht aufgenommen. „Schon in Brienne[2]) stellte man fest, daß er kein Talent für Sprachen und Literatur hatte." Er faßt die abstrakten Begriffe nicht nur schwer auf, sondern weist sie mit Abscheu von sich. „Er prüfte die Dinge nur in bezug auf ihre unmittelbare Nützlichkeit," sagt Mme de Staël, „ein allgemeines Prinzip mißfällt ihm wie eine Albernheit oder erscheint ihm wie etwas Feindliches." Diejenigen, denen die Abstraktion, die Generalisation und Deduktion als gewöhnliche Denkmittel

[1]) H. Taine: Les Origines de la France contemporaine. Le Régime moderne, t. I, l. I, c. I, art. 2, 3, 4. Paris 1891.

[2]) Alle Zitate sind dem Taineschen Werk entnommen.

dienen, kommen ihm wie fehlerhafte und unvollständige Wesen vor; er behandelt diese „Ideologen" mit tiefer Verachtung. „Es sind dort zwölf oder fünfzehn Metaphysiker, die ins Wasser geworfen werden sollten," sagt er, „es ist das ein Ungeziefer, das ich auf meinen Kleidern habe."

Wenn sein Verstand bei Aufnahme der allgemeinen Prinzipien versagt, wenn nach der Aussage Stendhals, „er die Mehrzahl der großen Wahrheiten, die seit hundert Jahren entdeckt wurden, nicht kennt," so hatte er zum Ersatz dafür eine außerordentliche Fähigkeit, auf einen Schlag die verwickeltste Masse von Tatsachen, von konkreten Objekten zu sehen, mit einem Blick, der die Gesamtheit klar erfaßt und sich trotzdem keine Einzelheit entgehen läßt. „Er hatte," sagt Bourienne, „ein schlechtes Gedächtnis für Eigennamen, für Worte und Daten, aber ein erstaunliches für Tatsachen und Ortschaften. Ich erinnere mich, daß er mich am Wege von Paris nach Toulon auf zehn zur Lieferung großer Schlachten geeignete Orte aufmerksam machte. . . . Das war damals eine Erinnerung an die ersten Reisen seiner Jugend, und er beschrieb mir das Terrain, bezeichnete sogar die Stellung, welche er einnehmen würde, bevor wir an die Orte kamen." Übrigens bemühte sich Napoleon selber, diese Eigenheit seines Gedächtnisses, das so stark für Tatsachen und so schwach für alles nicht Konkrete war, hervorzuheben. „Meine Verzeichnisse sind mir immer gegenwärtig. Ich besitze nicht genug Gedächtnis um einen Alexandriner zu behalten, aber ich vergesse keine Silbe von meinen Verzeichnissen. Ich finde sie heute abend in meinem Zimmer und lege mich nicht nieder, bevor ich sie gelesen habe."

Ebenso wie er die Abstraktion und Generalisation fürchtet, weil diese Operationen sich in ihm mit großer Mühe und Qual vollziehen, macht es ihm Freude, seine erstaunliche Vorstellungsgabe arbeiten zu lassen, wie es einen Athleten freut, die Fähigkeit seiner Muskeln zu prüfen. Seine Wißbegierde nach greifbaren und genauen Tatsachen ist „unersättlich" nach den Worten Molliens. „Die gute Beschaffenheit meiner Regimenter", sagte er uns selber, „rührt daher, daß ich mich mit ihnen täglich ein bis zwei Stunden beschäftige, und wenn

man mir jeden Monat das Verzeichnis meiner Truppen und meiner Flotte einsendet, das circa zwanzig starke Büchelchen bildet, so gebe ich jede andere Beschäftigung auf, um es im einzelnen zu lesen, und den Unterschied zwischen einem Monat und dem anderen zu sehen. Ich habe an dieser Lektüre mehr Freude wie ein junges Mädchen an der eines Romans."

Diese Vorstellungsgabe, von der Napoleon so leicht und gern Gebrauch macht, zeigt eine erstaunliche Auffassungsfähigkeit, Weite und Genauigkeit. Es gibt einen Überfluß an Beispielen, an denen diese wunderbaren Eigenschaften gewürdigt werden können. Die zwei folgenden sind genügend charakteristisch, um eine lange Aufzählung zu ersparen.

„Herr de Ségur, der beauftragt war, alle Plätze der nördlichen Küste zu besichtigen, hatte seinen Bericht vorgelegt. ‚Ich habe alle Ihre Verzeichnisse durchgesehen,' sagte mir der erste Konsul, ‚sie sind genau, nur haben Sie bei Ostende zwei vierpfündige Kanonen vergessen.' — Und er bezeichnete ihm den Platz, eine Straße mitten in der Stadt." — Das war richtig. — „Ich ging hinaus, verblüfft vor Erstaunen, daß von den Tausenden an der Küste in festen und beweglichen Batterien zerstreuten Kanonen zwei Vierpfünder seinem Gedächtnis nicht entfallen waren."

„Auf der Rückkehr aus dem Lager von Boulogne trifft Napoleon ein Häuflein verirrter Soldaten, fragt nach der Nummer ihres Regimentes, berechnet den Tag ihres Aufbruches, den Weg den sie genommen, den Weg den sie hätten machen sollen und sagt ihnen: ‚Ihr werdet euer Regiment an dem und dem Platz finden.' — Die Armee bestand nun damals aus 200000 Mann."

Durch Handlungen, durch die Haltung und sichtbare Gebärden wird der Mensch von seinesgleichen erkannt, enthüllt er ihm seine Gefühle, seine Instinkte, seine Leidenschaften. Bei einer derartigen Enthüllung ist oft die untergeordnetste, flüchtigste Einzelheit, eine unmerkliche Röte, ein kaum angedeutetes Zucken der Lippen das wesentliche Zeichen, das ein plötzliches Licht auf eine in der Tiefe der Seele verborgene Freude oder Enttäuschung wirft. Eine so winzige Einzelheit entgeht

dem forschenden Blick Napoleons nicht, und sein Vorstellungsgedächtnis bewahrt sie für immer auf, wie wenn es eine Momentaufnahme machen würde. Daher rührt seine tiefe Kenntnis der Menschen, mit denen er zu tun hat. „Eine solche unsichtbare moralische Kraft[1]) kann durch ihre wahrnehmbare Äußerung festgestellt und annähernd gemessen werden, durch die Stichprobe wie dieses Wort, dieser Ausdruck, diese Bewegung beschaffen sei. Diese Worte, diese Bewegungen und diese Ausdrücke sucht er aufzulesen. Er sieht die innersten Gefühle in ihrem äußeren Ausdruck, er malt sich das Innere nach dem Äußeren auf Grund dieses charakteristischen Gesichtes, jener ausdrucksvollen Haltung, jenes kleinen, einfachen und bezeichnenden Vorganges, auf Grund von Proben und Abrissen, die so gut gewählt und so ausführlich geschildert werden, daß sie die ganze unbestimmte Reihe der analogen Fälle zusammenfassen. Auf diese Weise werden flüchtige und schwankende Objekte plötzlich aufgefaßt, zusammengesetzt, alsdann gemessen und gewogen." Die seltsame Psychologie Napoleons ist vollständig durch seine Fähigkeit, sich mit Genauigkeit in der Gesamtheit und in den Einzelheiten sichtbare und greifbare Gegenstände, Menschen aus Fleisch und Knochen vorzustellen, gegeben.

Diese Fähigkeit ist es auch, welche seine Umgangssprache so lebhaft und farbenreich macht. Keine abstrakten Bezeichnungen oder allgemeinen Urteile, nur Bilder, die sofort das Auge oder Ohr packen: „Ich bin mit der Zollverwaltung auf den Alpen unzufrieden, sie gibt kein Lebenszeichen, man hört nicht, wie ihre Taler in die Staatskasse rollen."

Alles im geistigen Wesen Napoleons, die Furcht vor der Ideologie, der Blick des Verwalters und Taktikers, die tiefe Kenntnis des gesellschaftlichen Milieus und der Menschen, die bisweilen triviale Kraft seiner Ausdrucksweise, alles dies entspringt demselben Hauptcharakterzug: der Weite und Schwäche des Denkens.

---

[1]) Taine: Loc. cit., p. 35.

§ 3. — Das umfassende, das scharfe und das geometrische Denken.

Beim Studium des geistigen Wesens Napoleons konnten wir alle charakteristischen Eigenschaften des umfassenden Denkens beobachten, wir sahen sie außerordentlich vergrößert, wie durch ein Mikroskop. Es wird uns nun in Zukunft leicht sein, sie überall wiederzuerkennen, wo wir ihnen begegnen, und zwar manche von ihnen an den mannigfachen Gegenständen, denen der Geist, den sie charakterisieren, Aufmerksamkeit schenkt.

Wir werden sie vor allem überall dort wiedererkennen, wo wir dem Scharfsinn begegnen, denn der Scharfsinn, wie ihn Pascal uns beschreibt, besteht im wesentlichen in der Fähigkeit, eine sehr große Zahl konkreter Begriffe klar zu sehen und sie in ihrer Gesamtheit sowie in ihren Einzelheiten gleichzeitig zu erfassen. „Die Grundsätze des Scharfsinnes[1]) sind im allgemeinen Gebrauch und liegen vor den Augen aller Welt. Man braucht, ohne sich im geringsten Gewalt anzutun, nur seinen Kopf zu wenden. Es kommt nur auf gutes Sehen an, aber gut sehen muß man, denn die Grundsätze dieser Art sind so verbreitet und zahlreich, daß sie sich unmöglich verbergen können. Nun leitet aber die Nichtachtung eines Grundsatzes zum Irrtum, daher ist ein gutes Auge erforderlich, um alle Grundsätze zu sehen . . . Man erkennt sie kaum, fühlt sie mehr als man sie sieht. Es kostet unendliche Mühe, sie denen, die sie nicht selbst fühlen, fühlbar zu machen. Es handelt sich um so feine und zahlreiche Sachen, daß ein besonders feiner und klarer Sinn zu ihrem Empfinden gehört. Sehr oft kann man sie gar nicht reihenweise demonstrieren, wie in der Geometrie, weil man nicht deren Prinzipien inne hat, und ein solches Unternehmen ohne Ende sein würde. Man muß die ganze Sache wenigstens bis zu gewissem Grade mit einem Blick sehen und nicht durch Überlegungen zu ihnen gelangen."

„. . . Scharfsinnige Denker, die sich so nach einem einzigen Blick zu urteilen gewöhnt haben, sind daher sehr erstaunt, wenn

[1]) Pascal: Pensées, édition Havet, art. 7.

man ihnen Sätze vorlegt, die sie nicht erfassen, bei denen man durch Definitionen und unfruchtbare Grundsätze, die sie so einzeln zerlegt, zu sehen nicht gewohnt sind, durchdringen muß, vor denen sie zurückweichen und die ihnen verleidet werden . . . Den scharfsinnigen Denkern, die nur scharfsinnig sind, fehlt die Geduld, bis zu den ersten Grundsätzen spekulativer und imaginativer Gegenstände herabzusteigen, die sie niemals in der Welt und vor allem nie im Gebrauch gesehen haben."

Aus der Weite des Geistes entspringt der Scharfsinn des Diplomaten, der im Aufzeichnen der kleinsten Tatsachen, der geringsten Bewegungen, der untergeordnetsten Gebärden des Menschen, mit dem er verhandelt und dessen Verstellungskunst er durchschauen will, geübt ist. Der Scharfsinn eines Talleyrand gruppiert Tausende unmerklicher Aufschlüsse, welche er aus dem Ehrgeiz, der Eitelkeit, der Rachsucht, der Eifersucht, dem Hasse aller der Bevollmächtigten des Wiener Kongresses schöpft. Sie ermöglichen es ihm, mit diesen Menschen wie mit Marionetten, deren Fäden er in Händen hält, zu spielen.

Diese Weite des Geistes finden wir bei den Verfassern von Chroniken wieder, die in ihren Schriften die Details der Tatsachen und des Verhaltens der Menschen feststellen; bei einem Saint-Simon, der uns in seinen Memoiren „die Porträts von vierhundert Spitzbuben, von denen keine zwei sich gleichen," hinterließ. Sie ist das wesentliche Werkzeug des großen Romanciers, nur mit ihrer Hilfe konnte ein Balzac die Menge von Personen, die die „Comédie humaine" bevölkern, schaffen, eine jede von ihnen vor uns in Fleisch und Knochen hinstellen, aus diesem Fleisch alle die Runzeln, Warzen und Falten bilden, welche von jeder einzelnen Leidenschaft, jedem Laster, jeder Lächerlichkeit der Seele an die Oberfläche getrieben werden; diese Körper bekleiden, ihnen Haltung und Gebärden verleihen, sie mit Dingen umgeben, die ihr Milieu bilden, aus ihnen mit einem Wort Menschen machen, die in einer Welt, die sich bewegt, leben.

Die Weite des Geistes gibt dem Stil eines Rabelais Farbe und Wärme, überhäuft ihn mit sichtbaren, greifbaren, faßbaren Bildern, die bis zur Karikatur konkret, bis zum Zappeln lebendig

sind. Der weite Geist steht auch im Gegensatz zum klassischen Geist, den Taine schildert, jenem Geist, der die abstrakten Begriffe, Ordnung und Einfachheit liebt, der ganz natürlich in dem Stil Buffons spricht, der beim Ausdruck eines Gedankens immer die allgemeinste Bezeichnung wählt.

Alle die sind weite Geister, die in ihrer Phantasie ein klares, genaues, detailliertes Bild der Beziehungen einer Menge von Dingen festhalten können. Ein weiter Geist ist der Börsenspekulant, der aus einem Haufen von Telegrammen den Stand des Kornes oder der Wolle auf allen Märkten der Welt erkennt, und mit einem Blick beurteilen kann, ob er Hausse oder Baisse spielen soll. Ein weiter Geist ist der Oberbefehlshaber[1]), der einen Mobilisierungsplan auszudenken vermag, auf Grund dessen Millionen von Menschen ohne Gedränge, ohne Verwirrung am festgelegten Tag den bestimmten Kampfplatz besetzen werden. Ein weiter Geist ist auch der Schachspieler, der ohne auf das Schachbrett zu blicken, gleichzeitig gegen fünf Gegner spielt.

Die Weite des Geistes macht auch das Genie manches Geometers und manches Algebraikers aus. Mehr als ein Leser Pascals wird wohl erstaunt gewesen sein, als er ihn die Mathematiker in die Zahl der weiten aber schwachen Geister einreihen sah; diese Einreihung ist indessen keine der geringsten Proben seiner Verstandesschärfe.

Zweifellos behandelt jeder Zweig der Mathematik Vorstellungen, die im höchsten Grade abstrakt sind. Diese Abstraktion liefert die Begriffe der Zahl, der Geraden, der Oberfläche, des Winkels, der Masse, der Kraft und des Druckes. Die Abstraktion und philosophische Analyse ordnen und präzisieren die Eigenschaften dieser verschiedenen Begriffe, die die Axiome und Postulate ausdrücken. Die strengste Deduktion gibt die Sicherheit, daß diese Postulate einander nicht widersprechen, voneinander unabhängig sind, sie entwickelt in fehlerfreier Ordnung die lange Kette von Theoremen, die sie enthalten. Dieser mathematischen Methode verdanken wir die vollkommensten

[1]) Die Weite des Geistes war bei Cäsar beinahe ebenso ausgebildet wie bei Napoleon. Man weiß, daß er gleichzeitig vier Sekretären komplizierte Briefe in vier verschiedenen Sprachen diktiert hat.

Meisterwerke, die die Sicherheit und Tiefe des Denkens der Menschheit geschenkt haben, deren erste die Elemente des Euklid, die Abhandlungen des Archimedes über den Hebel und das Schwimmen der Körper gewesen.

Aber gerade deshalb, weil diese Methode fast ausschließlich die logischen Fähigkeiten des Intellektes beansprucht, weil sie ein im höchsten Maß starkes und genaues Denkvermögen erfordert, erscheint sie jenen, bei denen es weit aber schwach ist, äußerst mühsam und schwierig.

Gerade deshalb haben die Mathematiker ein Verfahren erdacht, welches diese rein abstrakte und deduktive Methode durch eine andere ersetzt, nach der dem Vorstellungsvermögen mehr Anteil zukommt, als der Denkfähigkeit. Anstatt die abstrakten Begriffe, mit denen sie sich beschäftigen, direkt zu behandeln, sie an sich zu betrachten, nützen sie deren einfachste Eigenschaften aus, die sie in Zahlen ausdrücken, die sie messen. Anstatt also die Eigenschaften der Begriffe selbst in eine Reihe von Schlüssen aneinander zu ketten, unterwerfen sie die Zahlen, die sie durch die nach festen Regeln ausgeführten Meßmanipulationen erlangt haben, den Regeln der Algebra. Anstatt abzuleiten, rechnen sie. Diese Handhabung algebraischer Symbole, die man im weitesten Sinne des Wortes als Rechnung bezeichnen kann, setzt nun ebenso bei demjenigen, der sie geschaffen, wie bei dem, der sie anwendet, viel weniger das Vermögen der Abstraktion und das der Ordnung von Gedankenreihen, als die Fähigkeit voraus, sich verschiedene und verwickelte Kombinationen, die man aus bestimmten, sichtbaren und schreibbaren Zeichen bilden kann, vorzustellen und auf einen Schlag die Umwandlungen zu bemerken, die den Übergang von einer Kombination zur anderen ermöglichen. Ein Entdecker auf algebraischem Gebiet, z. B. ein Jacobi, hatte nichts von einem Metaphysiker an sich, er gleicht eher einem Schachspieler, der den Turm oder Springer zum sicheren Siege führt. Unter gewissen Umständen tritt der geometrische neben dem scharfsinnigen in die Reihe der umfassenden aber schwachen Denker ein.

§ 4. — Der umfassende und der englische Geist.

Bei allen Nationen findet man Menschen von umfassendem Geist, es gibt aber ein Volk, bei dem er geradezu einheimisch ist, nämlich bei dem englischen.

Suchen wir in erster Linie in den schriftstellerischen Werken, die der englische Genius geschaffen, die zwei Merkmale des umfassenden und schwachen Geistes: die außerordentliche Leichtigkeit, sich sehr verwickelte Gruppierungen konkreter Gegenstände vorzustellen und die außerordentliche Schwerfälligkeit, abstrakte Begriffe zu erfassen und sie in allgemeine Prinzipien zu formulieren.

Was fällt dem französischen Leser beim Durchblättern eines englischen Romanes, sei es nun das Werk eines Meisters in seinem Fache, wie Dickens oder George Elliot, sei es der erste Versuch einer jungen Autorin, die literarischen Ruhm anstrebt, auf? Er wundert sich über die Länge und Ausführlichkeit der Beschreibungen. Am Anfang fühlt er seine Neugier durch das Pittoreske eines jeden Gegenstandes gereizt, aber bald verliert er die Übersicht über das Ganze. Die zahlreichen Bilder, welche der Autor heraufbeschwört, verwirren und vermengen sich miteinander, während unaufhörlich neue Bilder dazu kommen, um die Verwirrung noch zu vermehren. Wenn er mit einem Viertel der Beschreibung fertig ist, hat er bereits den Anfang vergessen. Sodann wendet er die Blätter ohne sie zu lesen, erschreckt von dieser Aufzählung konkreter Dinge, die ihm vorbeizumarschieren scheinen, wie in einem quälenden Traum. Sein tiefer aber enger Geist sehnt sich nach den Beschreibungen eines Loti, der in drei Zeilen das Wesen einer ganzen Landschaft abstrahiert und zusammenfaßt. Der Engländer hat keine ähnlichen Wünsche. Alle diese sichtbaren, greifbaren und tastbaren Dinge, die ihm der Schriftsteller, sein Landsmann, aufzählt und aufs genaueste beschreibt, erfaßt er ohne Anstrengung in ihrer Gesamtheit, ein jedes an seinem Platze mit allen Einzelheiten, die es charakterisieren. Er sieht ein Bild, das ihn entzückt, wo wir nur ein erdrückendes Chaos erblicken.

Dieser Gegensatz zwischen dem französischen Geist, der so stark ist, daß er Abstraktionen und Verallgemeinerungen

nicht fürchtet, aber zu eng, um sich irgendetwas Verwickelteres, bevor es in vollkommene Ordnung gebracht ist, vorstellen zu können, und dem umfassenden aber schwachen Geiste des Engländers, werden wir beim Vergleich aller Schriftdenkmale, die von diesen beiden Nationen stammen, stets wieder finden können.

Sollen wir es an den dramatischen Werken feststellen? Nehmen wir einen Helden Corneilles, Auguste, wie er zwischen Rache und Milde schwankt, oder Rodrigue, wie er seine Ehrfurcht gegen die Eltern und seine Liebe einander gegenüberstellt. Zwei Gefühle streiten in seinem Herzen, aber welche großartige Ordnung in ihrer Auseinandersetzung! Sie nehmen das Wort, ein jedes, wenn die Reihe an ihm ist, wie zwei Advokaten, die im Gerichtssaale in wohlgefügten Plaidoyers ihre überzeugenden Gründe auseinandersetzen. Und wenn dann von der einen wie der anderen Seite die Gründe klar dargelegt worden sind, schließt der Wille die Debatte mit einer Entscheidung, die so genau ist wie ein Urteil des Gerichtshofes oder eine Schlußfolgerung der Mathematik.

Und nun denken wir uns an Stelle des Auguste oder des Rodrigue Corneilles die Shakespearsche Lady Macbeth, oder den Hamlet. Welches Gemisch unklarer, unausgearbeiteter Gefühle, deren Konturen unbestimmt und unzusammenhängend, bald herrschen, bald beherrscht werden! Der in unserem klassischen Theater erzogene französische Zuschauer erschöpft sich in vergeblichen Anstrengungen, solche Persönlichkeiten zu verstehen, d. h. mit Klarheit aus einem bestimmten Seelenzustand diese Menge unbestimmter und einander widersprechender Eigenschaften abzuleiten. Der englische Zuschauer weiß von solcher Arbeit nichts. Er sucht nicht diese Persönlichkeiten zu verstehen, ihre Gesten zu klassifizieren und zu ordnen, er begnügt sich, sie in ihrem lebendigen Zusammenhang zu sehen.

Sollen wir diesen Gegensatz zwischen dem französischen und englischen Geiste beim Studium der philosophischen Schriften nochmals aufzeigen? Ersetzen wir Corneille und Shakespeare durch Descartes und Bacon.

Welchen Titel trägt die Einleitung, mit der Descartes seine

Werke beginnt? „Eine Abhandlung über die Methode." Sie bestand darin, „in meinem Gedankengang die Ordnung festzuhalten, daß ich mit den einfachsten und leichtesten Gegenständen begann und nur nach und nach zu Untersuchungen der verwickeltsten aufstieg, und eine gleiche Ordnung auch in den Dingen selbst anzunehmen, selbst wenn auch das eine nicht von Natur dem anderen vorangeht".

Und welche Dinge „sind am leichtesten erkennbar", mit denen „man beginnen muß"? Descartes wiederholt es des öfteren. Es sind die einfachsten Dinge und unter diesen Worten versteht er die abstraktesten, von wahrnehmbaren Wirkungen vollständig entblößten Begriffe, die umfassendsten Prinzipien, die allgemeinsten Urteile über Denken und Sein, die grundlegendsten Wahrheiten der Mathematik.

Von diesen Begriffen und Prinzipien ausgehend, entwickelt die deduktive Methode ihre Schlüsse, deren lange, aus lauter geprüften Gliedern bestehende Kette die speziellsten Konsequenzen fest an die Grundlage des Systems knüpft. „Die lange Kette einfacher und leichter Sätze, deren die Geometrie sich bedient, um ihre schwierigsten Beweise zustande zu bringen, ließ mich erwarten, daß alle dem Menschen erreichbaren Dinge sich ebenso folgen. Wenn man also sich nur vorsieht und nichts für wahr nimmt, was es nicht ist, und wenn man die zur Ableitung des einen aus dem anderen nötige Ordnung beobachtet, so kann man selbst den entferntesten Gegenstand endlich erreichen und den verborgensten entdecken."

Welche Fehlerquelle fürchtet Descartes einzig noch bei der Anwendung dieser so genauen und strengen Methode? Eine Lücke, denn er fühlt, daß er einen engen Geist hat, daß es ihm Mühe macht, sich ein verwickeltes Ganzes vorzustellen. Gerade in Hinsicht darauf nimmt er sich in acht, er veranstaltet eine Gegenprobe, indem er sich vornimmt, „von Zeit zu Zeit alles vollständig zu überzählen und im allgemeinen zu überschauen, um so gegen jedes Übersehen gesichert zu sein."

So ist diese cartesianische Methode beschaffen, deren exakte Anwendung in den „Prinzipien der Philosophie" stattfindet.

In ihr hat der starke und enge Geist den Mechanismus, nach dem er arbeitet, klar dargestellt.

Schlagen wir nun das „Novum Organum" auf. Suchen wir nicht nach der Methode Bacons, denn er hat keine. Die Anordnung seines Buches reduziert sich auf eine Teilung von kindlicher Einfachheit. In dem „Pars destruens" beschimpft er Aristoteles, der „die Naturphilosophie durch seine Dialektik verdorben, und die Welt mit seinen Kategorien aufgebaut hat". Im „Pars aedificans" verherrlicht er die wahre Philosophie; dieselbe hat nicht den Aufbau eines klaren und wohlgeordneten Systems von Wahrheiten zum Ziel, die logisch aus sicheren Prinzipien abgeleitet sind, ihr Gegenstand ist durchaus praktischer, ich wage zu sagen industrieller Natur. „Man muß sehen, welche Regel, welche Vorschrift vor allem eingehalten werden muß, um eine gewisse neue Eigenschaft an einem gegebenen Körper hervorzurufen und zu erzeugen sowie versuchen, sie in einfachen Ausdrücken und möglichst klar zu erklären."

„Wenn man z. B. dem Silber die Farbe des Goldes oder ein erheblicheres Gewicht geben will (unter Anpassung an die Gesetze der Materie), oder einem Stein, der kein Diamant ist, Durchsichtigkeit, oder dem Glase Zähigkeit, oder einem nicht wachsenden Körper Wachstum, so muß man vor allem, sagen wir, darauf bedacht sein, eine Regel, eine Vorschrift zu suchen, um es zu erhalten."

Lehren uns nun diese Vorschriften, unsere Experimente nach festen Regeln durchzuführen und zu ordnen? Liefern sie uns ein Mittel, unsere Beobachtungen zu klassifizieren? Keineswegs. Die Experimente werden ohne vorhergehende Überlegung gemacht, die Beobachtungen auf gut Glück gesammelt, die Resultate werden vollständig unbearbeitet, wie sie sich gerade darbieten, in Tabellen als positive Fälle, negative Fälle, Grade oder Vergleichungen, Ausnahmen oder Ausscheidungen aufgezeichnet, in denen ein französischer Geist nichts als einen ungeordneten Haufen unbrauchbarer Feststellungen sehen würde. Allerdings bequemt sich Bacon, bestimmte Kategorien bevorzugter Tatsachen aufzustellen, aber diese Kategorien werden von ihm nicht klassifiziert, sondern

nur aufgezählt. Er analysiert sie nicht, so daß er nicht diejenigen in derselben Gattung zusammenbringen kann, die aufeinander reduzierbar sind, er zählt siebenundzwanzig Arten auf, und läßt uns im unklaren, warum er die Liste nach der siebenundzwanzigsten abschließt. Er sucht nach keiner genauen Formel, welche eine jede dieser Kategorien der ausgewählten Tatsachen charakterisieren und bestimmen würde, er begnügt sich, sie mit einem Namen auszustatten, der ein wahrnehmbares Bild hervorruft: isolierte Tatsachen, Wanderung, Anzeigendes, Heimliches, Büschel, Angrenzendes, Feindliches, Bündnisartiges, Kreuzartiges, Zwietrachtartiges, Lampenartiges, Türartiges, Wasserlaufartiges. So ist das Durcheinander beschaffen, das gewisse Leute, — die nie Bacon gelesen haben —, der cartesianischen Methode entgegenhalten und als Baconsche Methode bezeichnen. In keinem anderen Werke läßt die Weite des englischen Geistes so sehr die durch sie verdeckte Schwäche durchscheinen.

Wie der Descartessche Geist in der ganzen französischen Philosophie heimisch zu sein scheint, so scheint die Vorstellungsgabe Bacons, sein Sinn für das Konkrete und Praktische, seine Unkenntnis und Verachtung für die Abstraktion und Deduktion in das Blut, das die englische Philosophie belebt, übergegangen zu sein. „Nacheinander haben[1]) Locke, Hume, Bentham und die beiden Mills die Philosophie der Erfahrung und Beobachtung dargelegt. In der Utilitätsmoral, der induktiven Logik, der assoziativen Psychologie bestehen die großen Beiträge der englischen Philosophie zu der universellen Gedankenarbeit. Alle diese Denker kommen weniger an Hand von Überlegungen, als durch Anhäufungen von Beispielen vorwärts. Anstatt Schlüsse aneinander zu ketten, sammeln sie Tatsachen. Darwin oder Spencer greifen ihre Gegner nicht in einem gelehrten Diskussionsgefecht an, sondern sie vernichten sie, indem sie sie steinigen.

Der Gegensatz zwischen der französischen und englischen Begabung macht sich in allen geistigen Schöpfungen geltend

[1]) A. Chevrillon: Sydney Smith et la renaissance des idées libérales en Angleterre au XIXe siècle, p. 90. Paris 1894.

und tritt gleicherweise bei allen Äußerungen des öffentlichen Lebens hervor.

Gibt es einen größeren Unterschied, als zwischen unserem französischen Recht, das in mehrere Codices gruppiert ist, in denen die Gesetzesartikel methodisch unter Titeln, die abstrakte, klar definierte Begriffe ausdrücken, eingereiht sind, und der englischen Gesetzgebung, die aus einem überwältigenden Haufen unzusammenhängender und oft einander widersprechender Gesetze und Gewohnheitsrechte besteht, die seit der Magna charta aneinandergereiht wurden, ohne daß die neu hinzukommenden den früheren Abbruch taten? Die englischen Richter fühlen sich durch diesen chaotischen Zustand der Gesetzgebung keineswegs beengt, sie beanspruchen weder einen Pothier noch einen Portalis, sie leiden nicht unter der Unordnung der Texte, die sie anzuwenden haben. Das Bedürfnis nach Ordnung offenbart Enge des Geistes, der eine Gesamtheit nicht mit einem Blick umfassen kann und einen zuverlässigen Führer benötigt, der ihm ein jedes der Elemente dieser Gesamtheit einzeln, ohne Lücke oder Wiederholung vorführt.

Der Engländer ist im wesentlichen konservativ, er hütet alle Traditionen, gleichviel woher sie stammen. Es verletzt ihn keineswegs, ein Andenken an Cromwell mit einem an Karl I. zusammengestellt zu sehen. Die Geschichte seines Landes erscheint ihm so, wie sie gewesen ist: als eine Folge verschiedener kontrastbildender Tatsachen, in der eine jede politische Partei nach der Reihe Glück und Mißgeschick erfahren, abwechselnd Verbrechen und ruhmvolle Taten vollführt hat. Ein solcher Hang an der Überlieferung, der alles Vergangene als solches achtet, ist mit der Enge des französischen Geistes unvereinbar. Der Franzose will eine Geschichte, die klar und einfach ist, die nach einer gewissen Ordnung und Methode entwickelt wird, in der alle Ereignisse aus den politischen Prinzipien, auf die sie sich beruft, ebenso hervorgehen, wie die Corollare aus einem mathematischen Theorem. Wenn die Wirklichkeit ihm nicht eine solche Geschichte liefert, so ist es um so schlimmer für diese Wirklichkeit. Er wird dann Tatsachen entstellen, manche unterdrücken, andere erfinden, da er es lieber mit einem Roman,

der klar und methodisch, als mit einer wahrheitsgetreuen Geschichte, die verwirrt und kompliziert ist, zu tun hat.

Die Enge des Geistes erweckt im Franzosen den Wunsch nach Klarheit, Ordnung und Methode, und diese Liebe zur Klarheit, Ordnung und Methode veranlaßt ihn, in jedem Gebiet das Erbe der Vergangenheit umzureißen und dem Erdboden gleichzumachen, um die Gegenwart nach einem vollständig geordneten Plan aufzubauen. Descartes, der vielleicht charakteristischste Vertreter des französischen Geistes, hat sich bemüht[1]), die Prinzipien, auf die sich alle berufen, die so oft die Kette unserer Überlieferung zerstört haben, zu formulieren. „So sieht man, daß die von einem Baumeister unternommenen und ausgeführten Bauten in der Regel schöner und von besserer Anordnung sind, als solche, an denen mehrere gebessert haben und an denen man alte Mauern, die zu anderem Zwecke gedient, benützt hat. So sind jene alten Häusergruppen, die im Anfang nur Burgflecken waren und im Laufe der Zeit große Städte geworden sind, im Vergleich zu den regelmäßigen Plätzen, die ein Ingenieur nach freiem Ermessen in einer Ebene anlegt, meist so schlecht eingeteilt, daß ungeachtet der hohen Kunst des einzelnen man doch beim Anblick ihrer schlechten Ordnung und der krummen und unregelmäßigen Straßen sie eher für Werke des Zufalles, als für die vernünftiger Wesen hält." An dieser Stelle preist der große Philosoph im voraus den Vandalismus, der zur Zeit Ludwig XIV. so viele Denkmäler der vorangegangenen Jahrhunderte zertrümmerte, er prophezeit Versailles.

Der Franzose begreift den Gang des sozialen und politischen Lebens nur als fortwährende Erneuerung, als unbegrenzte Serie von Revolutionen; der Engländer sieht dagegen in ihm eine kontinuierliche Entwickelung. Taine hat gezeigt, welchen entscheidenden Einfluß der klassische Geist, d. h. der starke aber enge Geist, mit dem die meisten Franzosen begabt sind, auf die Geschichte Frankreichs ausgeübt hat; man könnte ebenso an dem Gang der Geschichte Englands die Spuren des um-

[1]) Descartes: Discours de la Méthode.

fassenden aber schwachen Geistes des englischen Volkes mit Sicherheit verfolgen[1]).

Nachdem wir nun die Fähigkeit, sich eine große Menge konkreter Tatsachen vorzustellen, in Verbindung mit dem Unvermögen, abstrakte und allgemeine Gedanken zu erfassen, in ihren verschiedenen Äußerungen kennen gelernt haben, wird es uns nicht merkwürdig erscheinen, daß diese Weite und Schwäche des Geistes einen neuen Typus von physikalischen Theorien demjenigen entgegengestellt hat, den der starke aber enge Geist schuf. Wir werden uns auch nicht wundern, daß dieser neue Typus seine größte Entfaltung in den Werken „jener großen englischen Schule der mathematischen Physik, deren Arbeiten eine der Ruhmestaten des XIX. Jahrhunderts sind[2])", erreicht hat.

§ 5. — Die englische Physik und die mechanischen Modelle.

Beim Studium der in England erscheinenden physikalischen Abhandlungen stößt dem Franzosen jeden Augenblick ein höchst befremdendes Element auf. Dieses Element, das fast stets die Darlegung einer Theorie begleitet, ist das Modell. Nichts macht den Unterschied zwischen der englischen und unserer Art des Aufbaues der Wissenschaft anschaulicher, wie diese Verwendung des Modells.

Wir haben vor uns zwei elektrische Körper, man soll eine Theorie ihrer gegenseitigen Anziehung bezw. Abstoßung geben. Der französische oder deutsche Physiker, heiße er nun Poisson oder Gauß, denkt sich in der äußeren Umgebung dieser Körper die Abstraktion, die man als materiellen Punkt bezeichnet, in Verbindung mit jener andern Abstraktion, die man elek-

[1]) Der Leser findet eine sehr eingehende, scharfsinnige und gut mit Beweisen belegte Analyse eines zugleich umfassenden und schwachen englischen Geistes im Werke von André Chevrillon: Sydney Smith et la renaissance des idées libérales en Angleterre au XIXe siècle. Paris 1894.

[2]) O. Lodge: Les Théories modernes de l'Électricité. Essai d'une théorie nouvelle. Traduit de l'anglais et annoté par E. Meylan, p. 3, Paris 1891. [Deutsch herausgegeben von R. Wachsmut unter dem Titel: „Neueste Anschauungen über Elektrizität", Leipzig 1896.]

trische Ladung nennt, gesetzt; er sucht sodann eine dritte Abstraktion zu berechnen, die Kraft, der der materielle Punkt unterworfen ist. Er gibt Formeln an, die die Bestimmung der Größe und Richtung dieser Kraft für jede mögliche Lage dieses materiellen Punktes ermöglichen. Aus diesen Formeln leitet er eine Reihe von Konsequenzen ab. Er zeigt namentlich, daß an jedem Punkte des Raumes die Kraft die Richtung der Tangente an eine bestimmte Linie, die Kraftlinie, besitzt; daß alle Kraftlinien zu bestimmten Flächen, deren Gleichung er angibt, den Flächen gleichen Potentials senkrecht sind, daß sie, im Speziellen, zu den Oberflächen der zwei elektrisierten Leiter normal stehen, die in die Reihe der Flächen gleichen Potentials gehören. Er berechnet die Kraft, der ein jedes Element der beiden Oberflächen unterworfen ist, und setzt endlich alle diese elementaren Kräfte, entsprechend den Regeln der Statik zusammen. Er kennt nunmehr die Gesetze der gegenseitigen Wirkungen zweier elektrischer Körper.

Diese ganze Theorie der Elektrostatik bildet eine Gruppierung abstrakter Begriffe und allgemeiner Sätze, die in der klaren und genauen Sprache der Geometrie und Algebra formuliert, und die durch die Regeln einer strengen Logik untereinander verbunden sind. Diese Gruppierung befriedigt den Verstand eines französischen Physikers ebenso vollständig, wie seinen Sinn für Klarheit, Einfachheit und Ordnung.

Beim Engländer ist dies anders. Die abstrakten Begriffe des materiellen Punktes, der Kraft, der Kraftlinie, der Fläche gleichen Potentials, befriedigen sein Bedürfnis, sich konkret materielle, sichtbare und greifbare Dinge vorzustellen, nicht. „Solange wir uns an diese Darstellungsmethode halten", sagt ein englischer Physiker[1]), „können wir uns keine gedankliche Vorstellung von den sich in der Wirklichkeit vollziehenden Erscheinungen machen." Um diesem Bedürfnis zu genügen, schafft er ein Modell.

Der französische oder deutsche Physiker stellt sich im Raume, der zwei Konduktoren voneinander trennt, abstrakte

[1]) O. Lodge: op. cit., p. 16.

Kraftlinien, die weder Dicke noch reale Existenz haben, vor. Der englische Physiker geht sofort daran, diese Linien zu materialisieren, sie bis zu den Dimensionen einer Röhre zu erweitern, die er aus vulkanisiertem Kautschuk herstellt. An Stelle einer Gruppe idealer Kraftlinien, die nur dem Verstande faßbar sind, hat er ein Bündel elastischer Bänder, die sichtbar und tastbar, mit ihren beiden Enden an der Oberfläche der zwei Konduktoren festgeklebt sind, sich in Spannung befinden, so daß sie sich zu verkürzen und gleichzeitig zu verdicken suchen. Wenn die beiden Konduktoren sich einander nähern, sieht er, wie diese elastischen Bänder sie ziehen, er sieht, wie jedes von ihnen sich zusammenzieht und anschwillt. So ist das berühmte von Faraday erdachte Modell der elektrostatischen Wirkungen beschaffen, das von Maxwell und der ganzen englischen Schule als Werk des Genies bewundert wird.

In englischen physikalischen Abhandlungen wird beständig von derartigen mechanischen Modellen, die durch gewisse mehr oder minder grobe Analogien die Eigenschaften der Theorie, die auseinandergesetzt werden soll, ins Gedächtnis rufen, Gebrauch gemacht. Manche machen von ihnen nur mäßigen Gebrauch, andere greifen im Gegenteil jeden Augenblick zu diesen mechanischen Darstellungen. Vor uns liegt ein Buch[1]), das die modernen Theorien der Elektrizität darlegen will. Es ist darin nur die Rede von Seilen, die sich auf Rollen bewegen, sich um Walzen winden, durch kleine Ringe hindurchgehen und Gewichte tragen, von Röhren, deren manche Wasser aufsaugen, andere anschwellen und sich wieder zusammenziehen, von Zahnrädern, die ineinander eingreifen oder an Zahnstangen geführt werden; wir glaubten in die friedliche und sorgfältig geordnete Behausung der deduktiven Vernunft einzutreten, und befinden uns in einer Fabrik.

Der Gebrauch ähnlicher mechanischer Modelle erleichtert dem französischen Leser keineswegs die Einsicht in eine Theorie, er braucht im Gegenteil oft einen Kraftaufwand, um die Funktion des manchmal sehr komplizierten Apparates, den ihm

[1]) O. Lodge: op. cit.

der englische Autor beschreibt, zu verstehen, um die Analogien zwischen den Eigentümlichkeiten dieses Apparates und den Sätzen der Theorie, welche er illustrieren soll, zu erkennen. Dieser Kraftaufwand ist oft viel größer, als derjenige, den der Franzose aufbringen muß, um die abstrakte Theorie, die das Modell verkörpern will, in ihrer Reinheit zu verstehen. Der Engländer hingegen findet die Verwendung der Modelle beim Studium der Physik dermaßen notwendig, daß sich der Anblick des Modells für ihn mit dem Sinn der Theorie selbst vermischt. Es ist merkwürdig, daß diese Verwirrung von demjenigen förmlich anerkannt und proklamiert wird, der heute der höchste Ausdruck des englischen wissenschaftlichen Genius ist, der lange Zeit unter dem Namen William Thomson berühmt war, und der, in die Pairswürde erhoben, den Titel Lord Kelvin erhielt.

„Mein Ziel", sagt W. Thomson in seinen Vorlesungen über molekulare Dynamik[1]), „ist zu zeigen, wie man in jeder der Kategorien von physikalischen Phänomenen, die wir zu betrachten haben, wie immer auch diese Phänomene beschaffen seien, ein mechanisches Modell, welches den gestellten Bedingungen genügt, konstruieren kann. Wenn wir die Phänomene der Elastizität fester Körper betrachten, fühlen wir das Bedürfnis, uns ein Modell dieser Phänomene vorzustellen. Wenn wir bei anderer Gelegenheit die Lichtschwingungen zu betrachten haben, brauchen wir ein Modell der Wirkungen, die sich in diesen Erscheinungen kundgeben. Wir fühlen das Bedürfnis, an dieses Modell unser Verständnis der Gesamtheit zu knüpfen. Es scheint mir, daß der wahre Sinn der Frage: Verstehen wir das betreffende physikalische Problem oder verstehen wir es nicht? folgender ist: Können wir ein entsprechendes mechanisches Modell konstruieren? Ich habe eine außerordentliche Bewunderung für das mechanische Modell

[1]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, and the Wawe-Theory of Light. John Hopkins University, Baltimore, 1884, p. 131. Siehe auch: Sir W. Thomson (lord Kelvin): Conférences scientifiques et allocutions, trad. par P. Lugol et annotées par M. Brillouin: Constitution de la matière, Paris, 1893.

der elektromagnetischen Induktion, welches wir Maxwell verdanken; er hat ein Modell geschaffen, das alle wunderbaren Wirkungen, die die Elektrizität vermittelst induzierter Ströme etc. ausübt, hervorbringen kann. Unzweifelha mechanisches Modell außerordentlich lehrr einen klar bestimmten Schritt zu einer me des Elektromagnetismus."

„Ich bin niemals zufrieden", sagt an einer anderen Stelle[1]), „bevor ich von den ich studiere, ein mechanisches Modell Wenn ich ein mechanisches Modell mach ich, wenn ich keins machen kann, verste. diesem Grunde verstehe ich die elektron theorie nicht. Ich glaube fest an eine Lichttheorie. Wenn wir die Elektrizität, und das Licht verstehen werden, werden sie der Teil eines Ganzen sind. Ich wünsc nach bester Möglichkeit zu verstehen, ohne die ich noch weniger verstehe. Deshalb die reine Dynamik. Ich kann in der reine aber im Elektromagnetismus ein Modell fi

So bedeutet für die Physiker der engl physikalisches Phänomen verstehen so vie zusammenstellen können, das dieses Phä Folglich heißt die Natur der materiellen Din einen Mechanismus vorstellen, dessen Spiel der Körper darstellt, resp. nachahmt. Die englische Schule ist vollständig vom Gedanken der rein mechanischen Erklärung der physikalischen Phänomene eingenommen.

Die rein abstrakte Theorie, die Newton verkündete, die wir ausführlich studiert haben, erscheint den Anhängern dieser Schule wenig verständlich.

„Eine andere Klasse mathematischer Theorien", schrieb W. Thomson[2]), „die bis zu gewissem Grade auf Experimente

[1]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, p. 270.

[2]) W. Thomson & P. G. Tait: Treatise on natural Philosophy, vol. I., Ier part., art. 385.

basiert sind, ist auch von Nutzen und hat sogar in gewissen Fällen auf neue und wichtige Resultate hingewiesen, die nachträglich experimentell bestätigt worden sind. Hierher gehören die dynamische Theorie der Wärme, die Undulationstheorie des Lichtes usw. In der ersteren, welche auf der experimentellen Tatsache beruht, daß die Wärme eine Form der Energie ist, sind viele Formeln für jetzt dunkel und nicht zu interpretieren, da wir den Mechanismus der Bewegung und die Formänderungen der Moleküle nicht kennen . . . Dieselben Schwierigkeiten treten in der Theorie des Lichtes auf. Bevor aber diese Dunkelheit völlig aufgeklärt werden kann, müßten wir etwas über die letzte oder molekulare Konstitution der Körper oder Molekülgruppen wissen, die uns bis jetzt nur in ihren Vereinigungen bekannt sind."

Diese Vorliebe für erklärende und mechanische Theorien kann wohl sicher nicht als unterscheidendes Merkmal der englischen Theorien und derjenigen wissenschaftlichen Traditionen, die in andern Ländern blühen, genügen. Die mechanischen Theorien haben ihre ausgesprochenste Form bei einem französischen Genie, bei Descartes angenommen. Der Holländer Huygens und die schweizerische Schule der Bernoullis haben dafür gekämpft, den Prinzipien der Atomistik ihre ganze Strenge zu bewahren. Die englische Schule unterscheidet sich von andern nicht durch den Versuch, die Materie auf einen Mechanismus zurückzuführen, sondern durch die spezielle Form, in der diese Versuche unternommen wurden.

Zweifellos verdanken die mechanischen Theorien überall dort, wo sie Wurzel schlagen und sich entfalten, ihre Entstehung und Entwicklung einer verminderten Abstraktionsfähigkeit, einem Siege der Vorstellungskraft über die Vernunft. Wenn Descartes und die ihm nachfolgenden Philosophen der Materie nur rein geometrische oder kinematische Eigenschaften zubilligen wollten, so geschah es, weil alle Eigenschaften verborgen, weil sie dem Verstande, nicht aber der Vorstellungskraft zugänglich waren. Die Zurückführung der Materie auf die Geometrie durch die großen Denker des XVII. Jahrhunderts beweist klar, daß in dieser Epoche die

Fähigkeit zu tiefen eingehenden Abstraktionen, die sich in den Exzessen der untergehenden Scholastik erschöpfte, nachgelassen hatte.

Wohl kann bei den großen Physikern Frankreichs, Hollands, der Schweiz und Deutschlands der Sinn für die Abstraktion einer Ohnmacht ausgesetzt sein, er schläft aber niemals vollständig. Allerdings ist die Hypothese, daß alles in der materiellen Natur sich auf Geometrie und Kinematik zurückführen läßt, ein Sieg der Vorstellungskraft über den Verstand. Aber nachdem der Verstand in diesem wesentlichen Punkt zurückgetreten ist, nimmt er wenigstens seine Rechte wieder auf, wenn es sich um die Ableitung der Folgerungen, um den Aufbau des Mechanismus, der die Materie darstellen soll, handelt. Die Eigenschaften dieses Mechanismus müssen logisch den Hypothesen folgen, die als Grundlagen des kosmologischen Systems angenommen wurden. Descartes z. B. und nach ihm Malebranche bemühten sich, nachdem sie den Grundsatz, daß die Ausdehnung das Wesen der Materie sei, angenommen hatten, zu zeigen, daß die Materie überall die gleiche Natur habe, daß es nicht mehrere voneinander verschiedene materielle Substanzen geben könne, daß die verschiedenen Teile der Materie sich einzig und allein durch die Form und die Bewegungen voneinander unterscheiden können, daß die gleiche Quantität Materie immer den gleichen Raum einnimmt, daß dergestalt die Materie inkompressibel sei, und sie suchen ein System logisch aufzubauen, das bei der Erklärung der Naturerscheinungen die zwei einzigen Elemente, die Form der bewegten Teile und die Bewegung, die sie erfüllt, benutzt.

Der Bau des Mechanismus, der zur Erklärung der physikalischen Gesetze dienen soll, wird nicht nur bestimmten logischen Bedingungen unterworfen und ist gezwungen, vor bestimmten Prinzipien haltzumachen, sondern auch die Körper, die für die Zusammenstellung dieser Mechanismen dienen, sind den sichtbaren und konkreten Körpern, die wir jeden Tag beobachten und berühren, nicht im geringsten ähnlich. Sie sind aus einer abstrakten ideellen Materie, die durch die Prinzipien der Kosmologie, auf die sich der Physiker be-

ruft, definiert ist, einer Materie, die nicht in dem Gebiet der Sinne liegt, die allein der Vernunft sichtbar und greifbar ist, einer cartesianischen Materie, die nur aus Ausdehnung und Bewegung besteht, oder einer atomistischen Materie, die keine Eigenschaft außer Gestalt und Härte besitzt, gebildet.

Wenn ein englischer Physiker ein Modell zur Darstellung einer Gruppe physikalischer Gesetze sucht, so kümmert er sich um keinen kosmologischen Grundsatz, so hält er sich an keine logische Anforderung. Er sucht nicht sein Modell von einem philosophischen System abzuleiten, oder es auch nur mit einem solchen in Einklang zu bringen. Er hat nichts als das eine Ziel, eine sichtbare und handgreifliche Darstellung der abstrakten Gesetze, die sein Geist ohne Hilfe eines solchen Modells nicht erfassen kann, zu schaffen; ob die atomistische Kosmologie sich von seinem Mechanismus befriedigt erklärt, oder er nach den Prinzipien des Cartesianismus verworfen wird, kümmert ihn wenig, wenn er nur für die Anschauung genügend konkret, genügend klar ist.

Der englische Physiker verlangt von keiner Metaphysik, daß sie ihm die Elemente, aus denen er seine Mechanismen zusammenstellen will, liefere, er sucht nicht die nicht reduzierbaren Eigenschaften der letzten Elemente der Materie zu kennen. W. Thomson stellt sich z. B. niemals philosophische Fragen wie folgende: Ist die Materie kontinuierlich oder ist sie aus individuellen Elementen zusammengesetzt? Ist das Volumen eines letzten Elementes der Materie variabel oder unvariabel? Wie sind die Wirkungen eines Atoms beschaffen, werden sie auf Distanz oder nur bei Berührung ausgeübt? Solche Fragen entstehen nicht einmal in seinem Kopf, oder vielmehr, wenn sie bei ihm entstehen, weist er sie als für den Fortschritt der Wissenschaft müßig und schädlich zurück.

„Der Begriff des Atoms", sagt er[1]), „wurde stets mit unzulässigen Annahmen, wie die der unendlichen Härte, der absoluten Starrheit, einer mystischen Fernewirkung sowie der

[1]) W. Thomson: The Size of Atoms, Nature, März 1870. — Wieder abgedruckt in Thomson and Tait: Treatise on Natural Philosophy, IIe part., app. F.

Unteilbarkeit, verknüpft, so, daß die Chemiker und manche anderen vernünftigen Naturforscher der Gegenwart alle Geduld mit ihm verloren haben, und es in das Reich der Metaphysik verbannten, sie machten aus ihm einen Gegenstand, der kleiner als alles war, was man begreifen kann. Wenn aber das Atom von einer unbegreifbaren Kleinheit ist, warum gehen dann die chemischen Prozesse nicht unendlich schnell vor sich? Die Chemie ist nicht in der Lage, diese Frage und noch viele andere Probleme von größter Bedeutung zu behandeln. Sie ist durch die Starrheit ihrer grundlegenden Voraussetzungen beengt, die es verhindern, daß sie das Atom als reellen Teil der Materie auffaßt, der einen endlichen Raum einnimmt, der Dimensionen hat, die nicht so klein sind, daß sie allen Messungen unzugänglich blieben, und der zum Aufbau aller greifbaren Körper dient."

Die Körper, aus denen der englische Physiker seine Modelle konstruiert, sind nicht abstrakte, durch die Metaphysik verarbeitete Vorstellungen. Es sind konkrete Körper, die den uns umgebenden gleichen, sie sind fest oder flüssig, starr oder biegsam, flüchtig oder zähe; und unter Festigkeit, Flüchtigkeit, Härte, Biegsamkeit und Zähigkeit braucht man nicht die abstrakten Eigenschaften zu verstehen, deren Definition sich aus einer bestimmten Kosmologie ergibt. Diese Eigenschaften werden nämlich keineswegs definiert, sondern nur an Hand von sinnbildlichen Beispielen vorgestellt: Die Härte ruft das Bild eines Stahlblockes, die Biegsamkeit das eines Kokonfadens, die Zähigkeit das des Glyzerins wach. Um den konkreten Charakter der Körper, aus denen er seine Mechanismen verfertigt, in möglichst faßbarer Weise darzutun, schreckt W. Thomson nicht davor zurück, sie mit den gewöhnlichsten Ausdrücken zu bezeichnen. So bezeichnet er sie als Klingelzugwinkel, Bindfaden, Gallerte. Man kann nicht klarer zeigen, daß es sich nicht um Zusammenstellungen handelt, die von der Vernunft erfaßt, sondern um Mechanismen, die von dem Vorstellungsvermögen gesehen werden sollen.

Er könnte uns auch nicht deutlicher ankündigen, daß die Modelle, die er uns vorsetzt, nicht als Erklärungen der Ge-

setze in der Natur betrachtet werden dürfen. Wer ihnen einen solchen Sinn zuschreiben wollte, würde sonderbaren Überraschungen ausgesetzt sein.

Navier und Poisson stellten eine Theorie der Elastizität der kristallisierten Körper auf; diese Körper werden im allgemeinen durch 18 voneinander verschiedene Koeffizienten charakterisiert.[1]) W. Thomson sucht diese Theorie mit Hilfe eines mechanischen Modells zu illustrieren. „Wir konnten uns", sagt er[2]), „erst für befriedigt erklären, als es uns gelungen war, ein Modell mit 18 unabhängigen Modulen zu schaffen." Dieses Modell wird aus acht harten Kugeln, die an den acht Ecken eines Parallelepipedes angebracht sind und die untereinander durch eine genügende Anzahl Spiralfedern verbunden sind, gebildet. Wer von dem Anblick desselben eine Erklärung der Gesetze der Elastizität erwartet, wird eine große Enttäuschung erleben. Wie erklärt sich denn die Elastizität der Spiralfedern? Der große englische Physiker führt dieses Modell auch nicht als Erklärung an. „Wenn auch der molekulare Bau der festen Körper, der in diesen Betrachtungen vorausgesetzt und der durch unser Modell mechanisch veranschaulicht wurde, nicht als in der Natur genau verwirklicht aufgefaßt werden muß, so ist nichtsdestoweniger der Aufbau eines mechanischen Modells dieser Art sicher sehr lehrreich."

§ 6. — Die englische Schule und die mathematische Physik.

Pascal hat mit vollem Recht erkannt, daß die Weite des Geistes eine Fähigkeit sei, die bei einer großen Menge geometrischer Untersuchungen ins Spiel kommt, in noch viel höherem Maße ist sie die Eigenschaft, die das Genie des reinen Algebraikers charakterisiert. Für den Algebraiker handelt es sich

[1]) Wenigstens nach W. Thomson. In Wirklichkeit hat Navier nur isotrope Körper behandelt. Nach der Theorie von Poisson hängt die Elastizität eines kristallisierten Körpers nur von 15 Koeffizienten ab. Die Prinzipien der Navierschen Theorie führen, auf kristallisierte Körper angewendet, zu den gleichen Resultaten.

[2]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, p. 131.

nicht um die Analyse abstrakter Begriffe, um die Diskussion der Zulässigkeit allgemeiner Prinzipien, sondern um die geschickte, nach festen Regeln stattfindende Kombination von Zeichen, die mit der Feder geschrieben werden können. Ein großer Algebraiker benötigt keineswegs besondere Kraft des Denkens, eine große Weite desselben genügt. Die Geschicklichkeit für algebraisches Rechnen ist keine Gabe der Vernunft, sondern ein Attribut des Vorstellungsvermögens.

Es ist daher nicht merkwürdig, daß die Begabung für Algebra unter den englischen Mathematikern stark verbreitet ist; sie äußert sich nicht nur in der Zahl äußerst hervorragender Algebraiker, die die englische Schule zählt, sondern auch in der Vorliebe der Engländer für die verschiedenen Arten des symbolischen Rechnens.

Ein Wort zur Erläuterung dieser Sache.

Ein Mensch, dessen Geist nicht umfassend ist, wird leichter Dame, als Schach spielen. Denn wenn er im Damespiel einen Zug kombinieren will, hat er es bei seiner Kombination nur mit zwei Elementen, den höchst einfachen Regeln, nach denen die Steine und die Damen gezogen werden, zu tun. Die Taktik des Schachspielers kombiniert hingegen ebensoviele verschiedene elementare Operationen, als es Arten von Figuren gibt, und manche dieser Operationen, z. B. der Zug des Springers sind so kompliziert, daß sie ein schwaches Vorstellungsvermögen verwirren können.

Derselbe Unterschied, wie zwischen dem Dame- und dem Schachspiel, besteht zwischen der klassischen Algebra, die wir alle anwenden, und den verschiedenen Arten algebraischer Symbolik, die im XIX. Jahrhundert geschaffen wurden. Die klassische Algebra gebraucht bloß einige elementare Operationen, die durch spezielle Symbole dargestellt werden, und jede dieser Operationen ist recht einfach. Eine komplizierte algebraische Rechnung besteht in nichts anderem, als in einer langen Reihe dieser wenigen elementaren Operationen, in einer ausgedehnten Behandlung dieser wenigen Zeichen. Die Aufgabe einer symbolischen Algebra besteht in der Abkürzung dieser Rechnungen. Zu diesem Zweck fügt sie den elementaren

Operationen der klassischen Algebra andere Operationen hinzu, die sie als elementare behandelt, die sie durch spezielle Symbole darstellt, und deren jede eine nach einer festgesetzten Regel ausgeführte Kombination, resp. Kondensation von Operationen, die der alten Algebra entlehnt sind, bildet. In einer symbolischen Algebra kann man beinahe mit einem Schlag eine Rechnung ausführen, die in der alten Algebra in eine lange Reihe von Zwischenrechnungen zerfällt. Dafür muß man sich aber einer sehr großen Zahl von verschiedenen Zeichen bedienen, deren jedes einer sehr komplizierten Regel folgt. Anstatt des Damespieles spielt man eine Art Schach, bei dem jede der vielen verschiedenen Figuren nach ihrer eigenen Art bewegt wird.

Es ist klar, daß der Geschmack an symbolischer Algebra ein Anzeichen für die Weite des Geistes ist, und daß er insbesondere bei den Engländern verbreitet sein wird.

Diese Veranlagung des englischen Geistes für kondensierte algebraische Rechnung wird vielleicht nicht klar erkannt werden, wenn wir uns darauf beschränken, die Mathematiker, die ein solches Rechnungssystem geschaffen haben, Revue passieren zu lassen. Die englische Schule würde mit Stolz die von Hamilton erdachte Quaternionenrechnung anführen, die Franzosen könnten ihr aber die Cauchysche Symbolik (Théorie des clefs) und die Deutschen die Ausdehnungslehre Graßmanns entgegenhalten. Darüber braucht man keineswegs erstaunt zu sein, in jeder Nation kommen Denker mit umfassendem Geist vor.

Aber nur bei den Engländern ist der umfassende Geist häufig, gewöhnlich, ja einheimisch. Auch die verschiedenen Arten algebraischer Symbolik, die Quaternionenrechnung, die Vektoranalysis, sind nur bei den englischen Wissenschaftlern so stark in Gebrauch. Die meisten englischen Abhandlungen bedienen sich dieser komplizierten, abgekürzten Sprache. Die französischen oder deutschen Mathematiker lernen diese Sprache nicht gerne. Sie kommen nie dazu, sie geläufig zu sprechen, oder direkt in den Formeln, die sie zusammensetzen, zu denken; um einer nach der Quaternionenrechnung oder der Vektoranalysis ausgeführten Rechnung zu folgen, müssen sie sie erst in die klassische Algebra übersetzen. Einer der französischen

Mathematiker, die am gründlichsten die verschiedenen Arten des symbolischen Rechnens studiert haben, Paul Morin, sagte mir einmal: „Ich bin von einem Resultat, das ich nach der Quaternionenrechnung erhalten habe, erst überzeugt, wenn ich es durch unsere alte cartesianische Algebra bestätigt habe."

Die häufige Anwendung, die die englischen Physiker von den verschiedenen Arten der symbolischen Algebra machen, ist eine Äußerung der Weite ihres Geistes; sie hüllt ihre mathematische Theorie in ein eigenartiges Gewand, sie gibt aber der Theorie als solcher keine besondere Physiognomie. Wenn man dies Gewand beseitigt, kann man diese Theorie leicht nach der Mode der klassischen Algebra kleiden.

Nun genügt in vielen Fällen dieser Wechsel der Kleider nicht, um den englischen Ursprung einer Theorie der mathematischen Physik zu verhüllen, so daß man sie für eine französische oder deutsche Theorie nehmen könnte, sie wird vielmehr erkennen lassen, daß die Engländer beim Aufbau einer physikalischen Theorie der Mathematik nicht immer dieselbe Rolle, wie die Gelehrten des Kontinents, zuerkennen.

Für einen Franzosen oder Deutschen ist die physikalische Theorie ihrem Wesen nach ein logisches System; vollkommen strenge Ableitungen vereinigen die Hypothesen, auf denen die Theorie ruht, mit den Folgerungen, die man aus ihnen ziehen kann, und die man mit den Erfahrungstatsachen vergleichen will. Wenn eine algebraische Rechnung dazukommt, so nur deshalb, damit die Kette von Schlüssen, die die Folgerungen an die Hypothesen knüpft, weniger schwerfällig und leichter zu handhaben sei. Bei einer richtig gebauten Theorie kann aber nie übersehen werden, daß die Algebra rein die Rolle eines Hilfsmittels spielt. Man muß in jedem Augenblick die Möglichkeit sehen, die Rechnung durch eine rein logische Überlegung, deren abgekürzter Ausdruck sie ist, zu ersetzen. Damit diese Substitution in genauer und sicherer Weise ausführbar sei, muß eine sehr exakte und strenge Übereinstimmung zwischen den Symbolen, den Buchstaben, die die algebraische Rechnung miteinander in Verbindung bringt, und den Eigenschaften, die der Physiker gemessen hat, zwischen den fundamentalen Gleichungen,

die dem Analytiker als Ausgangspunkt dienen und den Hypothesen, auf denen die Theorie ruht, hergestellt werden.

So haben auch diejenigen, die in Frankreich und Deutschland Grundlegendes in der mathematischen Physik geschaffen haben, die Laplace, Fourier, Cauchy, Ampère, Gauß, Franz Neumann, mit äußerster Sorgfalt die Brücke konstruiert, die den Ausgangspunkt der Theorie mit dem Weg, auf dem sich die algebraische Entwickelung vollziehen soll, verbindet. Diese Brücke besteht in der Definition der in der Theorie zu behandelnden Größen und in der Rechtfertigung der Hypothesen, auf denen die Deduktionen ruhen. Daher stammen jene Einleitungen, die Muster an Klarheit und Methode sind, mit denen die meisten ihrer Abhandlungen beginnen.

Diese Einleitungen einer physikalischen Theorie, die zur Einführung der Gleichungen bestimmt sind, wird man wohl n den Schriften der englischen Autoren stets vergeblich suchen.

Wünscht man davon ein krasses Beispiel?

Zu der von Ampère geschaffenen Elektrodynamik der leitenden Körper hat Maxwell eine neue Elektrodynamik, diejenige der dielektrischen Körper, hinzugefügt. Dieser Zweig der Physik geht von der Betrachtung eines dem Wesen nach neuen Elementes aus, das man, nebenbei gesagt, recht unpassend als Verschiebungsstrom bezeichnet hat. Der Verschiebungsstrom wurde zur Ergänzung der Definition der Eigenschaften eines Dielektrikums in einem gegebenen Moment, die durch die Kenntnis der Polarisation in demselben nicht vollständig bestimmt sind, in derselben Weise eingeführt, wie der Leitungsstrom neben der elektrischen Ladung, der die Definition des veränderlichen Zustandes eines Leiters vervollständigte. Der Verschiebungs- und der Leitungsstrom weisen wohl enge Analogien, aber auch tiefe Verschiedenheiten auf. Infolge der Einführung dieses neuen Elementes erfuhr die Elektrodynamik eine vollständige Umwälzung; Phänomene, von denen die Wissenschaft nicht einmal eine Ahnung hatte, die Hertz erst zwanzig Jahre später entdeckte, wurden angekündigt, man sieht eine neue Theorie der Fortpflanzung elektrischer Wirkungen in nicht leitenden Medien entstehen, eine Theorie, die zu einer

unvorausgesehenen Interpretation der optischen Erscheinungen, zur elektromagnetischen Lichttheorie, führt.

Zweifellos wird nun Maxwell dieses so neue, so unvorhergesehene Element, das sich beim Studium so fruchtbar an seltsamen und wichtigen Folgen erweist, erst in seine Gleichungen einführen, nachdem er es mit der peinlichsten Sorgfalt definiert und analysiert hat. — Schlägt man die Schrift, in der Maxwell seine neue Theorie des elektromagnetischen Feldes dargelegt hat, auf, so findet man darin zur Rechtfertigung der Einführung des Verschiebungsstromes in die elektrodynamischen Gleichungen nur folgende Zeilen:

„Die Änderungen der elektrischen Verschiebung müssen zu den Strömen hinzugefügt werden, um die vollständige Bewegung der Elektrizität zu erhalten."

Wodurch läßt sich dieses beinahe vollständige Fehlen einer Definition in einem Falle, in dem es sich ja um die neuesten und wichtigsten Elemente handelt, diese Gleichgültigkeit gegenüber der Aufstellung der Gleichungen einer physikalischen Theorie, erklären? Die Antwort scheint uns nicht zweifelhaft. Während für einen französischen oder deutschen Physiker der algebraische Teil einer Theorie die Schlußreihe, in der ihre Entwickelung vor sich geht, genau ersetzen soll, spielt er für den englischen Physiker die Rolle eines Modells. Dieser algebraische Teil der Theorie ist eine dem Vorstellungsvermögen faßbare Gruppierung der Zeichen, deren, nach den Regeln der Algebra, ausgeführte Veränderungen mehr oder weniger richtig die Gesetze der zu studierenden Phänomene nachahmen, ebenso, wie dies durch eine Anordnung verschiedener, sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegender Körper geschehen würde.

Wenn daher ein französischer oder deutscher Physiker Definitionen einführt, die es ihm ermöglichen sollen, eine logische Ableitung durch eine algebraische Rechnung zu ersetzen, so muß er mit äußerster Sorgfalt verfahren, wenn er nicht die für seine Schlüsse erforderliche Strenge und Sicherheit preisgeben will. Wenn hingegen W. Thomson ein mechanisches Modell einer Gruppe von Erscheinungen vorbringt, so bemüht er sich nicht, in genauen Überlegungen die Übereinstimmung zwischen

dieser Anordnung der konkreten Körper und den physikalischen Gesetzen, die sie darstellen soll, herzustellen. Die Vorstellung, die allein das Modell interessiert, soll allein Richter über die Ähnlichkeit zwischen dem Bild und dem abzubildendem Ding sein. Ebenso verfährt Maxwell, der die Aufgabe, die physikalischen Gesetze mit den allgemeinen Modellen, die sie nachbilden sollen, miteinander zu vergleichen, der intuitiven Vorstellungsgabe überläßt. Er hält sich mit einem derartigen Vergleich nicht auf und verfolgt ohne weiteres das Spiel dieses Modells. Er kombiniert die elektrodynamischen Gleichungen, meistens ohne in jeder dieser Kombinationen nach ihrer Anpassung an die physikalischen Gesetze zu suchen.

Der französische oder deutsche Physiker kommt meistens durch eine derartige Auffassung der mathematischen Physik aus der Fassung, da er nicht begreift, daß er vor sich nur ein Modell sieht, das seine Vorstellungskraft packen, nicht aber seinen Verstand befriedigen soll. Er beharrt darauf, in den algebraischen Transformationen eine Folge von Deduktionen zu suchen, die von genau formulierten Hypothesen zu Folgerungen führen, die durch das Experiment bestätigt werden können, da er sie aber nicht findet, fragt er sich ängstlich, was denn nun eigentlich die Maxwellsche Theorie sein könne; worauf ihm derjenige, der in den Geist der englischen mathematischen Physik eingedrungen ist, antwortet, daß es in ihr gar nichts Übereinstimmendes mit der Theorie, die er sucht, sondern bloß algebraische Formeln, die sich kombinieren und transformieren, gibt. „Auf die Frage: was ist die Maxwellsche Theorie?“ sagte H. Hertz[1]), „wüßte ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort, als diese: die Maxwellsche Theorie ist das System der Maxwellschen Gleichungen.“

§ 7. — Die englische Schule und der logische Aufbau einer Theorie.

Die von den großen Mathematikern des Kontinents, seien es Franzosen oder Deutsche, Holländer oder Schweizer, ge-

[1]) H. Hertz: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. Einleitende Übersicht, p. 23. Leipzig 1892.

schaffenen Theorien lassen sich in zwei große Kategorien einteilen, in die erklärenden und in die rein beschreibenden Theorien. Aber diese beiden Arten von Theorien zeigen einen gemeinsamen Charakterzug, sie sollen als nach den Regeln strenger Logik aufgebaute Systeme betrachtet werden. Als Werke des Verstandes, der weder tiefe Abstraktionen noch lange Deduktionen scheut, aber vor allem nach Ordnung und Klarheit begehrt, wollen sie, daß durch eine einwandfreie Methode die Folge ihrer Sätze vom ersten bis zum letzten, von den grundlegenden Hypothesen bis zu den mit den Tatsachen zu vergleichenden Folgerungen gekennzeichnet sei.

Von dieser Methode stammen jene großartigen Systeme der Natur her, die behaupten, die Physik in die vollkommene Form der euklidischen Geometrie bringen zu können. Sie nehmen eine bestimmte Anzahl sehr klarer Postulate als Grundlage an, und bemühen sich, eine vollkommen strenge und regelmäßige Konstruktion, in der jede Erfahrungstatsache richtig untergebracht ist, auszuführen. Sie waren seit der Zeit, da Descartes seine Prinzipien der Philosophie entwarf, bis zu dem Tag, an dem Laplace und Poisson auf Grund der Anziehungshypothese das umfassende Gebäude ihrer Mecanique physique errichteten, das dauernde Ideal der abstrakten Denker und insbesondere des französischen Geistes. Im Streben nach diesem Ideal errichtete er Monumente, deren einfache Linien und großartige Proportionen noch heute, wo diese Gebäude, von allen Seiten untergraben, in ihrem Unterbau wankend geworden sind, Bewunderung erregen.

Diese Einheit der Theorie, diese logische Verkettung aller Teile, die sie zusammensetzen, sind so natürliche, so folgerichtige Konsequenzen der Idee, die ein starker Geist von einer physikalischen Theorie hat, daß für sie eine Störung in dieser Einheit oder ein Riß in dieser Verkettung die Verletzung der Prinzipien der Logik, die Ausführung einer Absurdität bedeutet.

Für das umfassende aber schwache Denken des englischen Physikers ist dies keineswegs der Fall.

Die Theorie ist für ihn weder eine Erklärung noch eine

rationelle Klassifikation der physikalischen Gesetze, sondern ein Modell dieser Gesetze. Sie ist nicht zur Befriedigung des Verstandes, sondern zum Ergötzen der Vorstellungskraft aufgebaut. Demzufolge entgeht sie der Herrschaft der Logik. Dem englischen Physiker ist es erlaubt, ein Modell zur Darstellung einer Gruppe von Gesetzen, und wieder ein anderes, vom früheren ganz verschiedenes zur Darstellung einer anderen Gruppe von Gesetzen, zu benützen und zwar auch dann, wenn gewisse Gesetze beiden Gruppen gemeinsam angehören. Ein Mathematiker der Laplaceschen oder Ampèreschen Schule würde es für absurd halten, vom gleichen Gesetze zwei verschiedene theoretische Erklärungen zu geben und dieselben gleichzeitig als gültig zu betrachten. Für einen Physiker der Thomsonschen oder Maxwellschen Schule liegt darin kein Widerspruch, wenn das gleiche Gesetz sich durch zwei verschiedene Modelle darstellen läßt. Und noch mehr Die so in die Wissenschaft eingeführte Komplikation stört den Engländer keineswegs, sondern sie hat für ihn eher noch den Reiz der Abwechslung. Da seine Vorstellungskraft weit mächtiger als die unsere ist, fehlt ihm das Bedürfnis nach Ordnung und Einfachheit, sie findet sich dort leicht zurecht, wo sich die unsere verwirren würde.

Daher kommen diese Ungleichförmigkeiten, diese Mängel an Zusammenhang, diese Widersprüche in den englischen Theorien, an die wir leicht einen strengen Maßstab anlegen, weil wir ein verstandesmäßiges System dort suchen, wo der Verfasser uns nichts weiter als ein Werk der Vorstellungskraft geben wollte.

Da haben wir z. B. eine Reihe von Vorlesungen[1]), die W. Thomson über die molekulare Dynamik und die Undula-

[1]) W. Thomson: Notes of Lectures on molecular Dynamics and the Wawe Theory of Light, Baltimore, 1884. Der Leser kann ebenso benutzen: Sir W. Thomson (lord Kelvin): Conférences scientifiques et allocutions, traduites et annotées sur la deuxième édition par P. Lugol; avec des extraits de mémoires récents de Sir W. Thomson et quelques notes, par M. Brillouin: Constitution de la Matière. Paris, Gauthier-Villars, 1893.

tionstheorie des Lichtes gehalten hat. Der französische Leser, der die Marginalien dieses Lehrbuches beim Durchblättern ansieht, hofft, eine Gruppierung richtig formulierter Hypothesen über die Beschaffenheit des Äthers und der ponderablen Materie, eine Reihe methodisch ausgeführter, von diesen Hypothesen ausgehender Rechnungen, eine genaue Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen dieser Rechnungen und den experimentellen Tatsachen zu finden. Seine Enttäuschung wird groß, seine Geringschätzung hingegen kurz sein! Es war keineswegs eine derartig geordnete Theorie, die W. Thomson aufbauen wollte; er wollte[1]) einfach verschiedene Klassen von Erfahrungstatsachen betrachten und für jede dieser Klassen ein mechanisches Modell konstruieren, und zwar ebensoviel verschiedene Modelle wie es Kategorien von Erscheinungen gibt, um so die Rolle des materiellen Moleküls in eben diesen Erscheinungen darzutun.

Wenn es sich darum handelt, die Eigenschaften der Elektrizität in einem kristallisierten Körper darzustellen[2]), so wird das materielle Molekül durch acht massive Kugeln dargestellt, die an den Enden eines Parallelepipedes angebracht sind und durch eine größere oder kleinere Anzahl von Spiralfedern miteinander zusammenhängen.

Wenn die Theorie der Dispersion des Lichtes für die Vorstellung faßbar gemacht werden soll, so wird das materielle Molekül aus einer gewissen Zahl kugelförmiger, harter, konzentrischer Hüllen zusammengesetzt,[3]) die durch Spiralsolcher kleinen Mechanismen ist im Äther zerstreut. Dieser federn in der gleichen Lage festgehalten werden. Eine Menge ist[4]) ein homogener inkompressibler Körper, der für sehr schnelle Schwingungen hart, für Wirkungen von größerer Dauer dagegen vollkommen weich ist. Er ist einer Gallerte oder dem Glyzerin ähnlich.[5])

---

[1]) W. Thomson: loc. cit., p. 132.
[2]) W. Thomson: loc. cit., p. 127.
[3]) W. Thomson: loc. cit., p. 10, 105, 118.
[4]) W. Thomson: loc. cit., p. 9.
[5]) W. Thomson: loc. cit., p. 118.

Wenn man ein Modell wünscht, das geeignet sein soll, die Polarisation nachzubilden, so werden die materiellen Moleküle, die wir zu Tausenden in unsere Gallerte ausstreuen, nicht mehr nach der beschriebenen Konstruktion gebaut. Es werden[1]) kleine harte Hüllen sein, in deren jeder ein Gyrostat mit großer Geschwindigkeit sich um eine in dieser Hülle befestigte Achse dreht.

Aber das ist noch eine zu grobe Anordnung, ein rohes gyrostatisches Molekül[2]), das bald durch einen vollständigeren Mechanismus ersetzt werden wird. Die feste Hülle enthält nunmehr nicht nur einen[3]) Gyrostaten, sondern deren zwei, die sich in entgegengesetztem Sinne drehen. Mit Schmierbüchsen versehene Kugelgelenke verbinden sie miteinander und mit den inneren Wänden der Hülle, wobei sie ihren Rotationsachsen einen gewissen Spielraum lassen.

Unter diesen verschiedenen Modellen, die in den „Vorlesungen über molekulare Dynamik" aufgeführt werden, wird es wohl schwierig werden, dasjenige, das am besten den Bau des materiellen Moleküls darstellt, zu wählen. Um wie viel schwieriger wird dies aber wohl werden, wenn wir noch die anderen von W. Thomson in seinen verschiedenen Schriften erdachten Modelle in Betracht ziehen.

An einer Stelle[4]) haben wir es mit einem homogenen inkompressiblen Fluidum ohne Viskosität, welches den ganzen Raum erfüllt, zu tun. Gewisse Teile dieses Fluidums führen ununterbrochen wirbelförmige Bewegungen aus. Diese Teile stellen die materiellen Atome dar.

An anderer Stelle[5]) wird die inkompressible Flüssigkeit durch eine Anordnung harter Kugeln, die miteinander durch geeignete Gestänge verbunden sind, dargestellt.

---

[1]) W. Thomson: loc. cit., p. 242, 290.

[2]) W. Thomson: loc. cit., p. 327.

[3]) W. Thomson: loc. cit., p. 320.

[4]) W. Thomson: On Vortex Atoms (Edinburgh Philosophical Society Proceedings, 18. Februar 1867).

[5]) W. Thomson: Comptes rendus de l'Academie des Sciences, 16. septembre 1889. — Scientific Papers, vol. III, p. 466.

Wieder an anderer Stelle[1]) beruft er sich auf die kinetischen Theorien von Maxwell und Tait, um die Eigenschaften der festen Körper, der Flüssigkeiten und Gase zu versinnbildlichen.

Wird uns vielleicht die Bestimmung die Konstitution, die W. Thomson dem Äther zuschreibt, leichter sein?

Als W. Thomson seine Theorie der Wirbelatome entwickelte, war der Äther ein Teil dieses homogenen inkompressiblen Fluidums, dem alle Viskosität fehlt, das den ganzen Raum erfüllt. Er wurde durch den Teil des Fluidums dargestellt, der keinerlei Wirbelbewegungen enthält. Um aber die Schwere, die die materiellen Moleküle gegeneinander ausüben, darzustellen, nahm der große Physiker[2]) bald die Beschaffenheit des Äthers komplizierter an. Indem er eine alte Hypothese von Fatio de Duilliers und Lesage wieder aufnimmt, wirft er in das homogene Fluidum einen Schwarm kleiner fester Körperchen, die mit außerordentlicher Geschwindigkeit nach allen Richtungen versehen sind.

In einer andern Schrift[3]) wird der Äther wieder zu einem homogenen, inkompressiblen Körper, aber dieser Körper ist jetzt einem sehr zähen Fluidum einer Gallerte, ähnlich. Diese Analogie wird auch, wenn die Reihe an ihr ist, fallen gelassen; um die Eigenschaften des Äthers darzustellen, greift W. Thomson[4]) auf die Formeln, die wir Mac Cullagh[5]) verdanken, zurück und stellt sie, um sie der Vorstellung zugänglich zu machen,

---

[1]) W. Thomson: Molecular constitution of Matter, §§ 29—44 (Proceedings of the Royal Society of Edimburgh, 1. und 15. Juli 1889; — Scientific Papers, vol. III, p. 404); — Lectures on molecular Dynamics, p. 280.

[2]) W. Thomson: On the ultramondane Corpuscles of Lesage (Philosophical Magazine, vol. XLV., p. 321, 1873).

[3]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, pp. 9, 118.

[4]) W. Thomson: Equilibrium or motion of an ideal Substance called for brevity Ether (Scientific Papers, vol. III, p. 445).

[5]) Mac Cullagh: An essay towards a dynamical theory of crystalline reflexion and refraction (Transactions Royal Irish Academy, vol. XXI, 9. Dezember 1839; — The Collected works of James Mac Cullagh, p. 145).

durch ein mechanisches Modell dar[1]). Starre Schachteln, von denen jede einen Gyrostaten enthält, der eine schnelle Rotationsbewegung um eine mit den Innenwänden fest verbundene Achse besitzt, sind miteinander durch Bänder aus einem biegsamen aber unausdehnbaren Stoff verbunden.

Diese wohl unvollständige Aufzählung der verschiedenen Modelle, durch die W. Thomson die verschiedenen Eigenschaften des Äthers und der ponderablen Moleküle darzustellen suchte, gibt uns nur eine schwache Vorstellung von der Menge von Bildern, die in seinem Geiste durch die Worte: Beschaffenheit der Materie hervorgerufen werden. Es müßten noch alle von den andern Physikern geschaffenen und von ihm zur Verwendung empfohlenen Modelle hinzugefügt werden, man müßte dazu z. B. das Modell der elektrischen Wirkungen von Maxwell[2]), für das Thomson eine unwandelbare Bewunderung bekennt, hinzufügen. An diesem können wir den Äther und alle die Elektrizität schlechtleitenden Körper in der Art von Honigwaben aufgebaut sehen. Die Zellwände sind nicht aus Wachs, sondern aus einem elastischen Körper gebildet, dessen Deformationen die elektrostatischen Wirkungen darstellen. Der Honig, der durch ein vollkommenes Fluidum, das sich in sehr schnellen Wirbelbewegungen befindet, ersetzt wird, stellt die magnetischen Wirkungen dar.

Diese Sammlung von Maschinen und Mechanismen verwirrt den französischen Leser der eine geordnete Reihenfolge von zusammengehörigen Voraussetzungen über die Konstitution der Materie, eine hypothetische Erklärung dieser Konstitution suchte. Aber W. Thomson beabsichtigte in keinem Augenblick eine solche Erklärung zu geben. Unaufhörlich warnt sogar die von ihm verwendete Ausdrucksweise den

[1]) W. Thomson: On a gyrostatic adynamic constitution of the Ether (Edimburgh Royal Society Proceedings, 17. März 1890; — Scientific Papers, vol. III, p. 466): — Ether, Electricity and Ponderable Matter (Scientific Papers, vol. III, p. 505).

[2]) J. Clerk Maxwell: On physical Lines of Force, IIIe part.: The Theory of molecular Vortices applied to statical Electricity (Philosophical Magazine, Januar und Februar 1882. — Scientific Papers, vol. I, p. 491).

Leser vor einer solchen Interpretation seines Gedankenganges. Die Mechanismen, die er anführt, sind „grobe Modelle“[1]), „rohe Bilder“[2]); sie sind „mechanisch nicht natürlich, unnatural mechanically“[3]), „die in diesen Betrachtungen dargestellte und in unserem Modell veranschaulichte mechanische Konstitution der festen Körper darf nicht als in der Natur verwirklicht angesehen werden“[4]), „es ist kaum nötig, zu bemerken, daß der Äther, den wir versinnbildlicht haben, eine durchaus ideale Substanz sei“[5]). Der provisorische Charakter aller dieser Modelle zeigt sich in der Ungezwungenheit, mit der der Autor sie aufgibt oder wieder aufnimmt, je nach dem Erfordernis der Erscheinung, die er gerade studiert. „Weg mit unsern sphärischen Hohlräumen und deren festen konzentrischen Hüllen, dies war, wie Sie sich erinnern, nur eine grobe mechanische Illustration. Ich will ein anderes mechanisches Modell geben, obwohl ich glaube, daß es auch von dem wahren Mechanismus der Erscheinungen sehr weit entfernt ist“[6]). Höchstens gibt er manchmal der Hoffnung Raum, daß diese scharfsinnig erdachten Modelle den Weg angeben, der in einer entfernten Zukunft zu einer physikalischen Erklärung der materiellen Welt führen wird[7]).

Die Fülle und Verschiedenheit der Modelle, die W. Thomson zur Darstellung der Beschaffenheit der Materie vorbringt, wundert den französischen Leser nicht übermäßig, denn er erkennt sehr bald, daß der große Physiker keineswegs eine für die Vernunft annehmbare Erklärung, sondern bloß ein Werk der Vorstellung schaffen wollte. Hingegen wird sein Erstaunen groß und dauernd sein, wenn er findet, daß ebenso wie in einer Sammlung mechanischer Modelle auch in dem Gang algebraischer Theorien Ordnung wie Methode fehlen,

---

[1]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, p. 11, 105.
[2]) W. Thomson: op. cit., p. 11.
[3]) W. Thomson: op. cit., p. 105.
[4]) W. Thomson: op. cit., p. 131.
[5]) W. Thomson: Scientific Papers, vol. III, p. 464.
[6]) W. Thomson: Lectures on molecular Dynamics, p. 280.
[7]) W. Thomson: Scientific Papers, vol. III, p. 510.

und die Logik mit Gleichgültigkeit behandelt wird. Wie soll er in der Tat die Möglichkeit einer unlogischen mathematischen Entwicklung begreifen? Daher stammt das Gefühl der Betroffenheit, das ihn beim Studium einer Schrift wie das „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus" von Maxwell erfaßt:

„Wenn ein Franzose zum ersten Male das Werk von Maxwell aufschlägt," schreibt Hr. Poincaré[1]), „so mischt sich in seine Bewunderung ein Gefühl des Unbehagens, ja oft sogar des Mißtrauens . . . ."

„Der englische Gelehrte sucht nicht ein einheitliches wohl geordnetes und endgültiges Gebäude zu errichten, es scheint vielmehr, als wolle er eine ganze Anzahl von vorläufigen und unzusammenhängenden Konstruktionen geben, zwischen denen die Verbindung schwierig, ja bisweilen unmöglich ist."

„Greifen wir beispielsweise das Kapitel heraus, in welchem die elektrostatischen Anziehungen erklärt werden durch Druck und Spannungsverhältnisse, die in dem dielektrischem Medium herrschen sollen. Dies Kapitel könnte fortgelassen werden, ohne daß der Rest des Buches an Klarheit und Vollständigkeit einbüßen würde, und andererseits enthält es eine in sich abgeschlossene Theorie, die man verstehen könnte, ohne auch nur eine einzige Zeile von dem, was vorhergeht oder folgt, gelesen zu haben. Aber es steht nicht allein außer Zusammenhang mit dem Reste des Werkes, sondern es ist sogar schwer, es mit den grundlegenden Ideen des Buches in Einklang zu bringen,[2]) wie wir später durch eine eingehende

---

[1]) H. Poincaré: Électricité et Optique, I. Les théories de Maxwell et la théorie électro-magnétique de la lumière. Introduction p. VIII. [Deutsche Ausgabe von Jäger und Gumlich (Berlin 1891) p. 1.] — Der Leser, der zu erfahren wünscht, bis zu welchem Grade die Gleichgültigkeit gegen jede Logik und selbst gegen jede mathematische Genauigkeit bei Maxwell geht, kann darüber viele Beispiele in folgender Schrift finden: P. Duhem, Les Théories électriques de J. Clerk Maxwell, Étude historique et critique, Paris 1902.

[2]) In Wirklichkeit entspringt diese Theorie von Maxwell aus einem vollständigen Mißverständnis der Gesetze der Elastizität. Wir haben dieses Mißverständnis festgestellt und die genaue Theorie, die an Stelle des Irrtums

Diskussion nachweisen werden. Maxwell versucht es auch nicht, diese Übereinstimmung herzustellen, er beschränkt sich vielmehr auf die Bemerkung:[1]) „I have not been able to make the next step, namely, to account by mechanical considerations for these stress in the dielectric."

„Dies Beispiel wird genügen, um meine Ansicht klarzulegen; ich könnte deren noch viele andere anführen. Wer würde beispielsweise beim Lesen der von der magnetischen Drehung der Polarisationsebene handelnden Stellen vermuten, daß zwischen den optischen und magnetischen Erscheinungen Identität herrscht?"

Das Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus von Maxwell kleidet sich vergebens in mathematische Form, es ist ebensowenig ein logisches System, wie die Vorlesungen über molekulare Dynamik von W. Thomson. Wie diese Vorlesungen setzt es sich aus einer Reihe von Modellen zusammen, von denen ein jedes eine Gruppe von Gesetzen darstellt, die ohne Rücksicht auf die anderen Modelle, aufgestellt werden, die zur Darstellung anderer mitunter aber auch der gleichen Gesetze oder einer Anzahl derselben dienen. Nur sind diese Modelle nicht mehr aus Gyrostaten, Spiralfedern und Glyzerin konstruiert, sondern bestehen aus Anordnungen algebraischer Zeichen. Diese verschiedenen Einzeltheorien, von denen eine jede für sich ohne Rücksicht auf die vorausgehenden entwickelt wird, die manchmal Teile

---

Maxwells zu setzen ist, entwickelt (a); ein Ausdruck, der fälschlicherweise an unserer Berechnung vernachlässigt wurde, wurde von Herrn Liénard (b) wieder eingesetzt, dessen Resultate wir durch direkte Analyse bestätigt haben (c).

a) P. Duhem: Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme, t. II, l. XII. Paris 1892.

b) Liénard: La Lumière électrique, t. LII, p. 7, 67. 1894.

c) P. Duhem: American Journal of Mathematics, vol. XVII, p. 117, 1895.

[1]) Ich bin nicht imstande gewesen, den zweiten Schritt, die Ableitung dieses Zwangszustandes des Dielektrikums aus mechanischen Betrachtungen auszuführen. [Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. I, p. 132, 1873.]

eines Gebietes wieder behandeln, die bereits behandelt wurden, wenden sich mehr an unsere Vorstellung als an unseren Verstand, sie sind Bilder, bei deren Ausführung der Künstler mit vollster Freiheit die Gegenstände, die er darstellen und die Ordnung, in die er sie gruppieren wollte, gewählt hat. Da verschlägt es nicht viel, wenn eine der Personen dem Maler schon in anderer Stellung für ein anderes Bild gesessen hat. Der Logiker würde scheel angesehen werden, wenn er daran Anstoß nehmen wollte. Eine Bildergalerie ist keine Kette logischer Schlüsse.

§ 8. — Die Weiterverbreitung der englischen Methode.

Der englische Geist ist durch die umfassende Fähigkeit, sich konkrete Gruppierungen vorzustellen und durch die geringe Fähigkeit für Abstraktion und Generalisation genau charakterisiert. Diese eigenartige Form des Geistes erzeugt eine eigenartige Form von physikalischer Theorie. Die Gesetze einer gewissen Gruppe sind in keiner Weise in ein logisches System zusammengefügt, sondern sie werden durch ein Modell dargestellt. Dieses Modell kann dann entweder in einem aus konkreten Körpern konstruierten Mechanismus, oder in einer Anordnung algebraischer Zeichen bestehen. Jedenfalls beugt sich die englische Theorie in ihren Entwickelungen nicht den von der Logik geforderten Regeln der Ordnung und Einheitlichkeit.

Während langer Zeit waren diese Eigenheiten förmlich die Fabrikmarke der in England aufgestellten physikalischen Theorien. Am Kontinent wurde von diesen Theorien nicht Gebrauch gemacht. Seit einigen Jahren ist dies anders. Die englische Art der Behandlung der Physik hat sich überall mit außerordentlicher Schnelligkeit verbreitet. Heute wird sie in Frankreich ebenso wie in Deutschland gebraucht. Wir wollen daran gehen, die Ursachen dieser Weiterverbreitung aufzusuchen.

Vor allem darf man nicht vergessen, daß die Form des Verstandes, die von Pascal als Umfang und Schwäche des Denkens bezeichnet wurde, bei den Engländern zwar sehr verbreitet, daß sie aber weder das Attribut aller Engländer, noch die Eigenschaft der Engländer allein ist.

In der Fähigkeit, sich abstrakte Gedanken vollständig klar zu machen, die allgemeinsten Prinzipien bis zum äußersten genau zu erfassen, wie in der Geschicklichkeit, sowohl eine Reihe von Experimenten, als auch eine Schlußfolge in tadelloser Ordnung durchzuführen, tritt Newton in keiner Weise hinter Descartes noch hinter irgendeinem der klassischen Denker zurück, seine Geisteskraft war eine der schärfsten, die die Menschheit gekannt hat.

Ebenso wie man bei den Engländern — und dafür bürgt uns Newton — starke und tiefe Denker finden kann, kann man außerhalb Englands umfassende aber schwache Denker antreffen.

Ein solcher war Gassendi.

Der von Pascal so klar definierte Gegensatz der beiden Verstandesarten tritt außerordentlich lebhaft in der berühmten Diskussion[1]), in der Gassendi und Descartes einander gegenüberstanden, hervor. Mit welchem Ungestüm beharrt[2]) Gassendi darauf, „daß der Geist sich nicht von dem Vorstellungsvermögen unterscheide"; mit welcher Kraft versichert er, daß „die Phantasie sich nicht vom Begreifen unterscheidet", daß „wir nur eine einzige Fähigkeit besitzen, durch die wir alle Dinge überhaupt erkennen"! Mit welchem Hochmut antwortet Descartes[3]), Gassendi: „Was ich über die Vorstellung sagte, ist genügend klar, wenn man darauf achten will, es ist aber kein Wunder, daß es denen, die nie nachdenken und sich das, worüber sie denken, nicht wieder überlegen, undeutlich erscheint!" Die beiden Gegner scheinen verstanden zu haben, daß ihre Debatte einen anderen Anstrich habe als die Mehrzahl der so häufigen Diskussionen zwischen Philosophen, daß sie kein Streit zwischen zwei Menschen oder zwei Doktrinen war, sondern ein Kampf zweier Arten des Denkens, des weiten aber schwachen gegen das starke aber enge. O anima! O mens! ruft Gassendi, wenn er an den Kämpen der Abstraktion eine Anfrage richtet. O caro! erwidert Descartes, indem er unter seiner

[1]) P. Gassendi: Disquisitio metaphysica, seu dubitationes et instantiae adversus Renati Cartesii Metaphysicam, et responsa.

[2]) P. Gassendi: Dubitationes in Meditationem IIam.

[3]) Cartesii: Reponsum ad Dubitationem V in Meditationem IIam.

hochmütigen Verachtung die Vorstellungsgabe, die sich auf die konkreten Dinge beschränkt, zermalmt.

Man versteht daher die Vorliebe Gassendis für die epikuräische Kosmologie. Unbeschadet ihrer außerordentlichen Kleinheit sind die Atome, die er sich vorstellt, den Körpern, die er täglich sehen und betasten kann, sehr ähnlich. Dieser konkrete, der Vorstellung faßbare Charakter der Physik von Gassendi zeigt sich in vollem Licht in der folgenden Stelle[1]), in der der Philosoph in der ihm eigenen Art die Neigungen und Abneigungen der Schule auseinandersetzt: „Man muß begreifen, daß diese Wirkungen sich in derselben Art wie die leichter wahrnehmbaren zwischen den Körpern vollziehen. Der einzige Unterschied ist, daß die Mechanismen im letzteren Fall grob, im ersteren sehr fein sind. Überall, wo uns der gewöhnliche Anblick eine Anziehung und Vereinigung zeigt, sehen wir Haken, Schnüre, irgend etwas, was hält und irgend etwas, was gehalten wird; überall, wo er uns eine Abstoßung und Trennung zeigt, sehen wir Stachel, Spieße, irgend einen Körper, der eine Sprengung verursacht usw. Ebenso müßten wir uns, um die Wirkungen, die nicht in das Gebiet der gewöhnlichen Sinne gehören, zu erklären, kleine Haken, kleine Schnüre, kleine Stachel, kleine Spieße und andere Vermittler derselben Art vorstellen. Diese Vermittler sind unfühlbar und untastbar, man darf aber daraus nicht etwa folgern, daß sie nicht existieren."

In allen Perioden der wissenschaftlichen Entwicklung wird man unter den Franzosen Physiker finden, die mit Gassendi geistig verwandt sind, und die wie er Erklärungen zu schaffen wünschen, die die Vorstellung fassen kann. Einer der scharfsinnigsten und fruchtbarsten Theoretiker, die unserer Epoche zur Ehre gereichen, Hr. J. Boussinesq, hat mit vollkommener Klarheit das Bedürfnis gewisser Denker, sich die Gegenstände, über die sie nachdenken, vorzustellen, dargelegt. „Wenn der menschliche Geist," sagt Hr. Boussinesq[2]), „die Naturerschei-

[1]) Gassendi: Syntagma philosophicum, II[a] pars, l. VI, c. XIV.

[2]) J. Boussinesq: Leçons synthétiques de Mécanique générale, p. 1; Paris, 1889.

nungen beobachtet, erkennt er neben vielen verworrenen Elementen, die er nicht ins klare zu bringen vermag, ein deutliches Element, das durch seine Bestimmtheit zum Gegenstand wirklich wissenschaftlicher Erkenntnisse geeignet ist. Das ist das geometrische Element, das an die Lokalisierung der Dinge im Raume anknüpft und das es ermöglicht, sich dieselben vorzustellen, sie zu bezeichnen, oder sie in mehr oder minder idealer Art zu konstruieren. Es ist aus den Dimensionen und Formen der Körper oder Systeme von Körpern zusammengesetzt, aus dem, was man mit einem Worte als ihre Konfiguration im gegebenen Moment bezeichnet. Diese Formen, diese Konfigurationen, deren meßbare Teile Entfernungen oder Winkel sind, bleiben bald während einer gewissen Zeit unverändert oder wenigstens nahezu unverändert bestehen, und scheinen sich sogar in denselben Gebieten des Raumes zu behaupten, und bilden somit das, was man Ruhe nennt, bald ändern sie sich unaufhörlich, aber stetig, wobei ihre Ortsänderungen das sind, was man als Ortsveränderung oder schlechtweg als Bewegung bezeichnet".

Diese verschiedenen Konfigurationen der Körper, ihr Wechsel von einem Moment zum anderen, sind die einzigen Elemente, die der Geometer zu entwerfen vermag, es sind auch die einzigen, die ein phantasievoller Kopf sich deutlich vergegenwärtigen kann, und daher nach seiner Meinung die einzigen, die als Objekte der Wissenschaft geeignet sind. Eine physikalische Theorie würde erst richtig beschaffen sein, wenn sie das Studium einer Gruppe von Gesetzen auf die Beschreibung solcher geometrischen Figuren, solcher Ortsveränderungen zurückgeführt hat. „Bis jetzt[1]) ist die Wissenschaft, wenn man ihre fertigen Partien oder die, die es sein könnten, betrachtet, von Aristoteles ausgehend bis zu Descartes und Newton vorgeschritten, von den Begriffen der Qualitäten und Zustandsänderungen, die nicht darstellbar sind, zu den Begriffen der Formen und Ortsveränderungen, die darstellbar und sichtbar sind."

Hr. Boussinesq wünscht nicht intensiver als Gassendi, daß die theoretische Physik ein Werk des Verstandes sei, mit dem

[1]) J. Boussinesq: Théorie analytique de la Chaleur, t. I, p. XV, 1901.

die Vorstellungskraft nichts zu tun hat. Er drückt seinen Gedanken in dieser Hinsicht in Formeln aus, deren Klarheit an gewisse Aussprüche Lord Kelvins erinnert.

Damit indessen kein Mißverständnis entsteht, muß gesagt werden, daß Hr. Boussinesq keineswegs den großen englischen Physikern bis ans Ende folgen würde. Wenn er auch wünscht, daß die Konstruktionen der theoretischen Physik in allen ihren Teilen der Vorstellung faßbar seien, so beabsichtigt er doch keineswegs, bei der Darstellung des Planes seiner Konstruktionen auf die Unterstützung der Logik zu verzichten. Er ist keineswegs damit einverstanden, und ebensowenig würde Gassendi damit einverstanden gewesen sein, daß diese Konstruktionen aller Ordnung und Einheit entblößt werden, daß sie nur ein Labyrinth unabhängiger und unzusammenhängender Bauten darstellen sollen.

Die französischen und deutschen Physiker haben in keinem Augenblick die physikalischen Theorien aus sich heraus auf eine Sammlung von Modellen beschränkt. Die Meinung ist nicht von der kontinentalen Wissenschaft aus eigenem Antrieb erzeugt, sondern aus England importiert worden.

Wir verdanken sie vor allem dem Ansehen des Maxwellschen Werkes; sie ist in die Wissenschaft durch die Kommentatoren und Nachfolger dieses großen Physikers eingeführt worden. Auch hat sie sich im ersten Anfang in ihrer verwirrendsten Form verbreitet. Bevor nämlich die französischen und deutschen Physiker daran gegangen sind, mechanische Modelle zu verwenden, hatten sich schon mehrere von ihnen daran gewöhnt, die mathematische Physik als Sammlung algebraischer Modelle zu behandeln.

In erster Linie muß man unter denen, die dazu beigetragen haben, eine solche Art der Behandlung der mathematischen Physik zu befördern, den berühmten Heinrich Hertz anführen. Wir hörten ihn folgende Erklärung aussprechen: „Die Maxwellsche Theorie ist das System der Maxwellschen Gleichungen.“ Entsprechend diesem Prinzip und sogar vor seiner Formulierung hat Hertz eine Theorie der Elektrodynamik

entwickelt[1]). Die von Maxwell aufgestellten Gleichungen bildeten deren Grundlage; sie wurden ohne eine wie immer geartete Diskussion, ohne Prüfung der Definitionen und Hypothesen, von denen sie abgeleitet wurden, akzeptiert. Sie wurden für sich allein behandelt, ohne daß die erhaltenen Folgerungen der Kontrolle des Experimentes unterworfen worden wären.

Ein solches Verfahren würde man bei einem Algebraiker verstehen, wenn er die Gleichungen studieren wollte, die aus Prinzipien abgeleitet sind, die von allen Physikern akzeptiert und durch das Experiment vollständig bestätigt worden sind. Man würde sich keineswegs wundern, wenn ein Algebraiker die Art der Aufstellung der Gleichungen und deren experimentelle Prüfung, in bezug auf die niemand irgendwelche Zweifel hegt, mit Schweigen übergehen würde. Das ist aber nicht bei den von Hertz studierten Gleichungen der Elektrodynamik der Fall. Die Überlegungen und Rechnungen, mit denen Maxwell sie wiederholt zu rechtfertigen suchte, weisen im Überfluß Widersprüche, Unklarheiten und Irrtümer auf. Was die Bestätigung, die durch das Experiment möglich wäre, betrifft, so kann sie nur teilweise und begrenzt sein. Es springt tatsächlich in die Augen, daß die einfache Existenz eines Stückes magnetisierten Stahls mit einer solchen Elektrodynamik unvereinbar ist. Dieser kolossale Widerspruch ist auch der Analyse von Hertz nicht entgangen[2]).

Man könnte vielleicht denken, daß die Annahme einer so strittigen Theorie dadurch notwendig geworden sei, daß keine andere Lehre vorhanden war, deren Unterbau logischer, und deren Übereinstimmung mit den Tatsachen genauer gewesen ist. Dies ist nicht der Fall. Helmholtz hat eine elektrodynamische Theorie aufgestellt, die sich vollständig logisch aus den am besten ge-

[1]) H. Hertz: Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper. (Göttinger Nachrichten, 19. März 1890. — Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie, Bd. XL. p. 577. — Gesammelte Werke von H. Hertz, Bd. II: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. 2. Aufl., p. 208.)

[2]) H. Hertz: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, 2. Auflage, p. 240.

stützten Prinzipien der Elektrizitätslehre ergibt, in der bei der Formulierung der Gleichungen keine Fehlschlüsse vorkommen, wie sie in den Werken Maxwells so häufig sind, die alle Tatsachen, von denen die Maxwellschen und Hertzschen Gleichungen Rechenschaft geben, darlegt, ohne von der Wirklichkeit Lügen gestraft zu werden, wie dies den letzteren geschieht; man kann nicht daran zweifeln, daß der Verstand verlangen würde, daß man diese Theorie vorzieht, aber die Vorstellung liebt mehr mit den von Hertz und in der gleichen Zeit von Heaviside und von Cohn gestalteten eleganten algebraischen Modellen zu spielen. Der Gebrauch dieses Modells hat sich sehr schnell unter den Denkern verbreitet, die so schwach sind, daß sie sich vor langen Ableitungen fürchten. Die Schriften häuften sich, in denen Maxwells Gleichungen ohne Diskussion angenommen wurden. Gleichsam wie ein offenbartes Dogma, bei dem die Unklarheiten wie heilige Mysterien verehrt werden.

Noch ausdrücklicher als Hertz hat Hr. Poincaré das Recht der mathematischen Physik proklamiert, das Joch einer wirklich strengen Logik abzuwerfen, und das Band, das diese verschiedenen Theorien aneinanderknüpft, zu zerreißen. „Man darf sich also nicht einbilden," sagt er[1]), „jeden Widerspruch gelöst zu sehen, aber man muß eben Partei ergreifen. In der Tat kann von zwei sich widersprechenden Theorien, vorausgesetzt, daß man sie nicht durcheinander wirft, und daß man darin nicht nach dem Ursprunge der Erscheinungen sucht, eine jede für sich betrachtet, als nützliches Hilfsmittel für Untersuchungen dienen, und vielleicht wäre die Lektüre von Maxwell weniger anregend, wenn sie uns nicht so viele neue und verschiedenartige Ausblicke eröffnet hätte."

Dieser Ausspruch, der den Methoden der englischen Physik, den mit solchem Aufsehen von Lord Kelvin gelehrten Ideen, in Frankreich die Bahn frei machte, blieb nicht ohne Widerhall. Viele Ursachen sicherten ihm eine starke und dauernde Resonanz.

---

[1]) H. Poincaré: Électricité et Optique. I. Les théories de Maxwell et la théorie électro-magnétique de la lumière. Introduction p. IX. (Deutsche Ausgabe von Jäger und Gumlich, p. 3.)

Ich will hier weder von der hohen Autorität desjenigen, der diesen Ausspruch getan, noch von der Bedeutung der Entdeckungen in bezug auf die er getan wurde, sprechen. Die Ursachen, die ich angeben will, sind zwar von rechtswegen weniger begründet, üben aber keineswegs geringeren Einfluß aus.

Unter diesen Ursachen muß man in erster Linie den Geschmack am Exotischen, den Wunsch, das Fremde nachzuahmen, das Bedürfnis, seinen Geist wie seinen Körper nach der Londoner Mode zu kleiden, anführen. Wie viele von denen, die erklären, die Physik von Maxwell und von Thomson der bisher in unserem Lande üblichen klassischen vorzuziehen, könnten sich auf kein anderes Motiv berufen als auf das: sie ist englisch!

Überdies ist die laute Bewunderung für die englische Methode für viele nur ein Mittel, um vergessen zu machen, wie wenig geschickt sie in der französischen Methode sind, wie schwer es ihnen ist, einen abstrakten Begriff zu fassen, einer strengen Überlegung zu folgen. Da ihnen die Kraft des Denkens fehlt, versuchen sie, indem sie die Haltung umfassender Denker annehmen, glauben zu machen, daß sie Weite des Geistes besitzen.

Diese Gründe würden indessen vielleicht nicht genügt haben, um der englischen Physik das Ansehen zu verschaffen, dessen sie sich heute erfreut, wenn nicht auch die Bedürfnisse der Industrie hinzugekommen wären.

Der Industrielle ist sehr oft ein weiter Geist. Die Notwendigkeit, Einrichtungen zu kombinieren, Geschäfte zu führen, Menschen zu behandeln, gewöhnen ihn früh daran, klar und schnell verwickelte Gruppierungen konkreter Dinge zu erfassen. Dafür ist er fast immer ein sehr schwacher Denker. Seine tägliche Beschäftigung hält ihn von den abstrakten Begriffen und allgemeinen Prinzipien fern. Die Fähigkeiten, die die geistige Kraft ausmachen, gehen bei ihm nach und nach zurück, wie es bei Organen geschieht, die nicht funktionieren. Das englische Modell kann daher nicht verfehlen, ihm als die seinen geistigen Fähigkeiten am besten angepaßte Form der physikalischen Theorie zu erscheinen.

Selbstredend wünscht er, daß die Physik in dieser Form den Leitern der Werkstätten und Fabriken dargelegt werde.

Überdies verlangt der künftige Ingenieur einen Unterricht von kurzer Dauer. Er beeilt sich, Geld aus seinen Kenntnissen herauszuschlagen. Er wünscht keine Zeit zu verschwenden, die für ihn Geld bedeutet. Nun kennt die abstrakte Physik, die vor allem eine absolute Solidität des von ihr aufgestellten Gebäudes fordert, diese fieberhafte Hast nicht. Sie will auf Felsen bauen, und um dies zu erreichen, gräbt sie so tief es nötig ist. Von denen, die ihre Schüler sein wollen, verlangt sie einen in den verschiedenen Übungen der Logik bewanderten, durch die Gymnastik der mathematischen Wissenschaften geschmeidig gewordenen Geist. Sie erläßt ihnen kein Mittelglied, sie erspart ihnen keine Verwicklung. Warum sollen sich jene, die sich nur um die Nützlichkeit, nicht aber um die Wahrheit kümmern, dieser strengen Disziplin unterwerfen? Warum sollen sie nicht die schnellen Methoden, die sich an die Vorstellung wenden, vorziehen? Jene, die die Aufgabe haben, den technischen Unterricht zu erteilen, haben daher lebhaft darauf gedrungen, daß die englischen Methoden angenommen werden, daß jene Physik gelehrt werde, die sogar in den mathematischen Formeln nur Modelle sieht.

Die meisten unter ihnen setzen diesen Bestrebungen keinen Widerstand entgegen. Ganz im Gegenteil. Sie übertreiben noch die Geringschätzung der Ordnung und die Verachtung der Strenge, zu der sich die englischen Physiker bekennen. Sie fragen im Moment, wo sie eine Formel in ihre Vorlesungen oder Abhandlungen einführen, niemals danach, ob sie genau, nur ob sie bequem sei und ob sie sich an die Vorstellung wende. Für den, der nicht die schwere Pflicht gehabt, solche Schriften aufmerksam zu lesen, ist es kaum glaublich, bis zu welchem Grade diese Verachtung gegen alle verstandesmäßigen Methoden, gegen alle genauen Ableitungen geht, die sich in vielen Schriften, die sich mit den Anwendungen der Physik beschäftigen, finden. Die ungeheuerlichsten Trugschlüsse, die fehlerhaftesten Rechnungen zeigen sich dort in reinstem Lichte. Unter dem Einfluß des technischen Unterrichtes ist die theoretische Physik eine konstante Herausforderung des richtigen Denkens geworden.

Denn das Übel berührt nicht nur die Bücher und Vorlesungen, die für die künftigen Ingenieure bestimmt sind. Es ist überall eingedrungen, es hat Verbreitung gefunden durch die geringschätzigen Reden und Vorurteile der Menge, die die Wissenschaft mit der Industrie verwechselt, die das staubige, schnaubende, stinkende Automobil für den Triumphwagen des menschlichen Denkens hält. Der höhere Unterricht ist bereits mit dem Utilitarismus infiziert, und die Mittelstufe ist eine Beute der Epidemie. Im Namen dieses Utilitarismus macht man mit den Methoden, die bisher zur Darstellung der physikalischen Wissenschaften gedient, reinen Tisch. Man verwirft die abstrakten und deduktiven Theorien, man bemüht sich, den Schülern induktive und konkrete Ausblicke zu eröffnen. Man sucht in die jungen Köpfe nicht Begriffe und Prinzipien, sondern Zahlen und Tatsachen hineinzubringen.

Wir wollen uns nicht damit aufhalten, diese minderwertigen und unwürdigen Formen der auf Vorstellung gegründeten Theorien lange zu diskutieren.

Den Snobs gegenüber wollen wir bemerken, daß, wenn es auch leicht ist, die Verschrobenheiten eines fremden Volkes nachzuäffen, es um so schwieriger ist, seine vererbten, charakteristischen Eigenschaften zu erhalten. Sie können wohl auf die Kraft des französischen Denkers verzichten, nicht aber auf seine Begrenztheit, sie können leicht in bezug auf die Schwäche mit dem englischen Geist rivalisieren, nicht aber in bezug auf seine Weite, so daß sie sich verurteilen können, gleichzeitig schwache und enge, das heißt falsche Denker zu sein.

Die Industriellen, die sich nicht um die Richtigkeit einer Formel kümmern, sofern sie nur bequem ist, erinnern wir daran, daß die einfache aber falsche Gleichung früher oder später durch eine unerwartete Vergeltung der Logik zu dem Unternehmen, das scheitert, zu dem Damme, der bricht, zu der Brücke, die einstürzt, führt. Sie bedeutet den finanziellen Ruin, wenn nicht das Unheil, das Menschenleben verschlingt!

Den Utilitaristen endlich, die praktische Menschen zu erziehen

glauben, indem sie ihre Schüler nur konkrete Dinge lehren, sagen wir, daß ihre Schüler höchstens routinierte Handlanger, die mechanisch unverstandene Vorschriften anwenden, sein werden, denn nur die abstrakten und allgemeinen Prinzipien können das Denken in unbekannte Regionen leiten und ihm die Lösung unvorhergesehener Schwierigkeiten ermöglichen.

§ 9. — Trägt die Anwendung mechanischer Modelle bei Entdeckungen Früchte?

Um die auf Vorstellung beruhende physikalische Theorie richtig einschätzen zu können, nehmen wir sie nicht in der Art, wie sie uns diejenigen zeigen, die vorgeben, von ihr Gebrauch zu machen, ohne die Weite des Geistes zu besitzen, die nötig ist, um sie richtig zu gebrauchen. Betrachten wir sie von der Seite, von der es diejenigen getan, deren mächtige Vorstellungskraft sie erzeugt, im speziellen von der Seite, von der sie die großen englischen Physiker ansehen.

In betreff des Verfahrens, das die Engländer bei der Behandlung der Physik anwenden, ist heute die Meinung gang und gäbe, daß eine übermäßige Sorge um die logische Einheit auf den alten Theorien lastete, so daß die Ersetzung der streng verketteten Deduktionen, die früher im Gebrauch waren, durch voneinander unabhängige Modelle den Forschungen des Physikers eine Anpassungsfähigkeit und Freiheit sichert, die außerordentliche Früchte bei Entdeckungen tragen.

Diese Meinung scheint uns zu recht großem Teile auf Illusionen zu beruhen.

Allzu oft schreiben die, die dieser Meinung beipflichten, dem Gebrauch von Modellen Entdeckungen zu, die auf ganz anderem Wege erhalten wurden.

In einer sehr großen Zahl von Fällen wurde ein Modell von einer bereits ausgebildeten Theorie entweder durch den Schöpfer der Theorie selbst oder durch irgendeinen anderen Physiker konstruiert. Alsdann wurde nach und nach die abstrakte Theorie durch das Modell in Vergessenheit gebracht, während sie ihm doch vorangegangen war, und es ohne sie nicht ersonnen worden wäre. Das Modell gibt sich dann als

ein Instrument der Entdeckung aus, während es nur ein Darstellungsmittel ist. Ein Leser, der nicht von vornherein in Kenntnis darüber ist, dem die Zeit für historische Studien und Quellenforschungen fehlt, kann durch diese Entstellung zu falschen Schlüssen verleitet werden.

Nehmen wir als Beispiel den „Rapport," in dem Hr. Émile Picard[1]) in so großen und so knappen Zügen ein Bild des Standes der Wissenschaften im Jahre 1900 zeichnet. Lesen wir die Stellen, die zwei gegenwärtig sehr wichtigen Theorien der Physik gewidmet sind: der Theorie der Kontinuität des flüssigen und gasförmigen Zustandes und der des osmotischen Druckes. Es wird uns scheinen, daß der Anteil mechanischer Modelle, bildlicher Hypothesen über die Moleküle, ihre Bewegungen und Stöße bei der Schöpfung und Entwicklung dieser Theorien sehr groß war. Indem uns der „Rapport" des Hrn. Picard diese Annahme beibringt, spiegelt er nur ganz genau die Meinungen wieder, die täglich in den Hörsälen und Laboratorien geäußert werden. Aber diese Ansichten entbehren der Begründung. An der Schöpfung und Entwickelung der zwei Theorien, die uns beschäftigen, hat die Verwendung von Modellen beinahe keinen Anteil gehabt.

Die Vorstellung der Kontinuität zwischen dem flüssigen und gasförmigen Zustand entstand im Kopfe von Andrews als experimentelle Induktion. Ebenso führten die Induktion und Generalisation James Thomson zur Auffassung der theoretischen Isotherme. Aus einem System, das der Typus einer abstrakten Theorie ist, aus der Thermodynamik hat Gibbs eine vollkommen zusammenhängende Darstellung dieses neuen Teiles der Physik abgeleitet, während dieselbe Thermodynamik Maxwell eine wesentliche Beziehung zwischen der theoretischen und der praktischen Isotherme lieferte.

Während die abstrakte Thermodynamik so ihre Fruchtbarkeit offenbarte, nahm Hr. Van der Waals seinerseits mit Hilfe von Annahmen über die Natur und die Bewegung der Moleküle

[1]) Exposition universelle de 1900 à Paris. Rapport du Jury international. Introduction générale. IIe partie: Sciences, par M. Émile Picard, Paris 1901, pp. 53ff.

das Studium der Kontinuität zwischen dem flüssigen und gasförmigen Zustand in Angriff. Die Beisteuer der kinetischen Hypothesen zu diesem Studium bestand in einer Gleichung der theoretischen Isotherme, aus der sich eine Folgerung, das Gesetz der korrespondierenden Zustände ergab. Aber bei der Konfrontation mit den Tatsachen mußte man erkennen, daß die Gleichung der Isotherme zu einfach und das Gesetz der korrespondierenden Zustände zu grob war, als daß eine Physik, die etwas auf Genauigkeit hält, sie beibehalten könnte.

Die Geschichte des osmotischen Druckes ist nicht minder deutlich. Die abstrakte Thermodynamik hat von Anfang an Gibbs die Grundgleichungen geliefert. In gleicher Weise war die Thermodynamik der einzige Führer des Hrn. J. H. Van't Hoff bei seinen ersten Arbeiten, während die experimentelle Induktion Raoult die zum Fortschritt der neuen Lehre notwendigen Gesetze lieferte. Sie war erwachsen und stark gebaut, als die mechanischen Modelle und kinetischen Hypothesen ihr Hilfe bringen wollten, nach der sie nicht verlangte, mit der sie nichts anfangen konnte und aus der sie keinen Vorteil gezogen hat.

Bevor man daher die Schöpfung einer Theorie den mechanischen Modellen, unter denen sie heute begraben sind, zuschreibt, muß man sich vergewissern, ob diese Modelle wirklich bei ihrer Entstehung entscheidend oder wenigstens nützlich gewesen, ob sie nicht, wie ein parasitäres Gewächs, erschienen sind, um sich an einem starken und lebensvollen Baum emporzuranken.

Ebenso darf man, wenn man die Fruchtbarkeit, die der Gebrauch der Modelle mit sich bringen kann, genau abschätzen will, nicht diesen Gebrauch mit der Verwendung der Analogie verwechseln.

Der Physiker, der die Gesetze einer gewissen Kategorie von Phänomenen zu vereinigen und zu klassifizieren sucht, läßt sich sehr oft durch die Analogie, die er zwischen diesen Phänomenen und den Phänomenen einer anderen Kategorie sieht, leiten. Wenn diese letzteren schon geordnet und in einer befriedigenden Theorie dargestellt sind, wird der Physiker versuchen, die ersteren in einem System desselben Typus und derselben Form zu gruppieren.

Die Geschichte der Physik zeigt uns, daß die Forschung nach Analogien zweier verschiedener Kategorien von Erscheinungen vielleicht von allen beim Bau physikalischer Theorien verwendeten Mitteln die sicherste und fruchtbarste Methode gewesen ist.

So hat die Analogie, die Huygens zwischen den Lichtphänomenen und denen, die den Ton bilden, bemerkte, ihn zum Begriff der Lichtwelle geführt, die er so wunderbar zu benützen wußte. Später führte diese selbe Analogie Malebranche und sodann Young zur Darstellung des monochromatischen Lichtes durch eine Formel, die der gleicht, die einen Ton darstellt.

Eine Ähnlichkeit, die Ohm zwischen der Fortpflanzung der Wärme und der der Elektrizität bemerkte, ermöglichte es ihm, die Gleichungen, die Fourier für die erstere Erscheinungsklasse aufgestellt hatte, auf die zweite zu übertragen.

Die Geschichte der Theorien des Magnetismus und der dielektrischen Polarisation besteht nur in der Entwicklung von Analogien zwischen den Magneten und elektrischen Isolatoren, die seit langem von den Physikern vermutet worden waren. Dank dieser Analogie hat jede der beiden Theorien vom Fortschritt der anderen Nutzen gezogen.

Die Verwendung der physikalischen Analogie nimmt manchmal eine noch bestimmtere Form an.

Wenn zwei Kategorien von sehr verschiedenen, sehr unähnlichen Erscheinungen auf abstrakte Theorien reduziert worden sind, kann es geschehen, daß die Gleichungen, in denen die eine derselben formuliert ist, algebraisch, mit den Gleichungen, die die andere ausdrücken, identisch ist. Wenn nun auch diese beiden Theorien auf Grund der Natur der Gesetze, die sie ordnen, im Wesen verschieden sind, stellt doch die Algebra zwischen ihnen eine genaue Übereinstimmung her. Jedem Satz der einen dieser Theorien entspricht ein homologer in der andern. Jedes Problem, das in der ersten gelöst wird, stellt und löst ein ähnliches Problem in der zweiten. Von diesen zwei Theorien kann jede nach dem von den Engländern angewendeten Wort dazu dienen, die andere zu illustrieren:

„Unter physikalischer Analogie verstehe ich," sagt Maxwell[1]), „die teilweise Ähnlichkeit zwischen den Gesetzen eines Wissenszweiges und denjenigen eines anderen, die bewirkt, daß der eine Wissenszweig dazu dienen kann, den anderen zu illustrieren."

Eines der vielen Beispiele dieser wechselseitigen Illustration zweier Theorien sei hier angeführt:

Der Begriff des warmen und der des elektrisierten Körpers sind zwei dem Wesen nach verschiedene Begriffe. Die Gesetze, die die stationäre Verteilung der Temperaturen auf einer Gruppe von Körpern, die gute Wärmeleiter sind, bestimmen, und die Gesetze, die den elektrischen Gleichgewichtszustand auf einer Gruppe von Körpern, die gute Elektrizitätsleiter sind, angeben, handeln von vollkommen verschiedenen physikalischen Objekten. Dennoch werden die beiden Theorien, die die Aufgabe haben, diese Gesetze zu klassifizieren, durch zwei Gruppen von Gleichungen ausgedrückt, die der Algebraiker nicht voneinander unterscheiden kann. Er löst auch jedesmal, wenn er die Lösung eines Problemes über die stationäre Temperaturverteilung findet, gleichzeitig ein Problem der Elektrostatik und umgekehrt.

Eine derartige algebraische Übereinstimmung zwischen zwei Theorien, eine derartige Illustration der einen durch die andere ist außerordentlich wertvoll. Sie bietet nicht nur eine wesentliche Gedankenökonomie, da sie erlaubt, den ganzen für eine Theorie aufgestellten algebraischen Apparat ohne weiteres auf andere zu übertragen, sondern stellt auch ein Verfahren der Neuforschung dar. Es kann in der Tat geschehen, daß in einem dieser beiden Gebiete, denen derselbe algebraische Grundriß entspricht, die Anschauung auf Grund des Experiments vollständig natürlich ein Problem ergibt und dessen Lösung nahelegt, während in dem anderen Gebiete der Physiker nicht so leicht dazu geführt worden wäre, diese Frage zu stellen oder die betreffende Lösung zu geben.

Diese verschiedenen Arten, in denen an die Analogie zwischen zwei Gruppen physikalischer Gesetze und zwischen zwei verschiedenen Theorien appelliert wird, sind daher für Entdeckungen fruchtbar, aber man darf sie nicht mit dem Gebrauch

[1]) J. Clerk Maxwell: Scientific Papers, vol. I, p. 156.

der Modelle verwechseln. Sie bestehen in der Annäherung zweier abstrakter Systeme aneinander, indem entweder das eine schon bekannte zur Auffindung der Form des anderen, das man noch nicht kennt, dient, oder, wenn beide schon formuliert sind, machen sie einander gegenseitig deutlicher. Es gibt darin nichts, was den strengsten Logiker in Erstaunen versetzen könnte, aber es ist noch weniger darin, was an die Methoden, die die weiten aber schwachen Denker bevorzugen, erinnert. In keiner Weise ersetzt der Gebrauch der Vorstellung den Gebrauch des Verstandes, in keiner Weise wird logisch geführte Einsicht in die abstrakten Begriffe und allgemeinen Urteile verworfen, um sie durch die Anschauung konkreter Gruppierungen zu ersetzen.

Wenn wir nicht dem Gebrauch von Modellen Entdeckungen zuschreiben, die in Wirklichkeit den abstrakten Theorien zu verdanken sind, wenn wir uns hüten, den Gebrauch derartiger Modelle mit dem Gebrauch der Analogie zu verwechseln, welchen Anteil haben dann wirklich die auf Vorstellung gegründeten Theorien an dem Fortschritt der Physik?

Dieser Anteil wird sehr gering sein.

Der Physiker, der am ausgesprochensten das Verständnis einer Theorie mit der Anschauung eines Modelles identifiziert hat, Lord Kelvin, hat sich durch berühmte Entdeckungen ausgezeichnet. Wir sehen aber unter diesen keine, zu der er durch die auf Vorstellung gegründete Physik inspiriert worden wäre. Seine schönsten Funde, der nach ihm benannte Effekt, die Eigenschaften variabler Ströme, die Gesetze der oszillierenden Entladung und viele andere, die nicht alle aufgezählt werden können, wurden mit Hilfe der abstrakten Systeme der klassischen Thermodynamik und Elektrodynamik gemacht. Überall, wo er die mechanischen Modelle zu Hilfe ruft, beschränkt er sich auf die Arbeit der Darstellung bereits erhaltener Resultate; um Neuerforschungen handelt es sich in diesem Falle niemals.

Ebenso scheint es nicht, daß das Modell der elektrostatischen und elektromagnetischen Wirkungen, das Maxwell in der Abhandlung: On physical Lines of Force angibt, ihn bei der Schaffung der elektromagnetischen Lichttheorie geleitet habe.

Ohne Zweifel bemüht er sich, aus diesem Modell die beiden wesentlichen Formeln dieser Theorie abzuleiten, aber schon die Art, in der er bei seinen Bemühungen vorgeht, zeigt deutlicher als nötig, daß die Resultate, die erhalten werden sollten, ihm schon von einem andern Wege her bekannt gewesen sind. In seinem Bestreben, sie, koste es was immer, wieder zu finden, geht er bis zur Verdrehung einer der Grundformeln der Elastizität[1]). Er konnte die Theorie, die ihm vorschwebte, nur schaffen, indem er auf die Verwendung aller Modelle verzichtete, indem er auf dem Weg der Analogie das abstrakte System der Elektrodynamik auf die Verschiebungsströme ausdehnte.

So hat weder in den Leistungen Lord Kelvins, noch in den Leistungen Maxwells der Gebrauch mechanischer Modelle die Fruchtbarkeit gezeigt, die man ihm heute so gern zuschreibt.

Soll damit gesagt sein, daß niemals ein Physiker zu einer Entdeckung durch diese Methode inspiriert worden sei? Eine derartige Behauptung wäre eine lächerliche Übertreibung. Die Erfindungsgabe ist keiner festen Regel unterworfen. Es gibt keine Lehre, die so dumm wäre, daß sie nicht eines Tages zu einer neuen und glücklichen Idee anregen könnte. So hat die Sterndeuterkunst ihren Anteil an der Entwickelung der Prinzipien der Mechanik des Himmels gehabt.

Überdies würde der, welcher dem Gebrauch mechanischer Modelle jedwede Fruchtbarkeit absprechen wollte, durch Beispiele aus der letzten Zeit widerlegt werden. Man würde gegen ihn die elektrooptische Theorie des Hrn. Lorentz anführen, die die Teilung der Spektrallinien in einem magnetischen Feld voraussah und Hrn. Zeeman zur Beobachtung dieses Phänomens veranlaßte, man würde gegen ihn die von Hrn. J. J. Thomson erdachten Mechanismen anführen, die den Transport der Elektrizität im Innern einer Gasmasse darstellen, sowie die merkwürdigen Experimente, die sich daran knüpften.

Ohne Zweifel würden auch diese Beispiele Anlaß zur Diskussion geben.

[1]) P. Duhem: Les Théories électriques de J. Clerk Maxwell, étude historique et critique. Paris 1902, p. 212.

Man könnte einwenden, daß das elektrooptische System des Hrn. Lorentz, obwohl es auf mechanische Hypothesen gegründet ist, nicht mehr in einem einfachen Modell, sondern in einer ausgedehnten Theorie besteht, deren verschiedene Teile logisch verbunden und geordnet sind, daß überdies der Zeemaneffekt weit entfernt ist, die Theorie, die seine Entdeckung veranlaßt hat, zu bestätigen, vielmehr in erster Linie den Beweis lieferte, daß diese Theorie nicht so wie sie war beibehalten werden könne, sondern daß sie mindestens einschneidenden Änderungen unterworfen werden müsse.

Man könnte auch bemerken, daß das Band zwischen den Bildern, die Hr. J. J. Thomson unserer Anschauung vorlegt und den gut beobachteten Tatsachen der Gasionisation recht locker sei, daß die mechanischen Modelle, die neben diese Tatsachen gesetzt werden, eher die bereits vollzogenen Entdeckungen verdunkeln als die in Aussicht stehenden beleuchten.

Aber halten wir uns nicht mit diesen Spitzfindigkeiten auf. Geben wir ohne Umschweif zu, daß die Anwendung mechanischer Modelle manche Physiker auf den Weg der Entdeckung führen konnte, und daß sie noch zu anderen Funden führen kann. Sicher ist aber, daß sie nicht jenen reichen Beitrag zum Fortschritt der Physik beigesteuert, den man uns angepriesen hat. Der Teil der Ausbeute, den sie zu der Menge unserer Kenntnisse hinzugefügt hat, scheint recht mager zu sein, wenn man ihn mit den reichlichen Errungenschaften der abstrakten Theorien vergleicht.

§ 10. — Soll der Gebrauch mechanischer Modelle die Forschung nach abstrakten und logisch geordneten Theorien hindern?

Wir haben gesehen, daß die berühmtesten Physiker unter jenen, die den Gebrauch mechanischer Modelle empfehlen, in dieser Form der Theorie weit weniger ein Hilfsmittel der Neuforschung als eine Darstellungsmethode suchen. Lord Kelvin hat selbst keineswegs behauptet, daß die Mechanismen, die er in so großer Zahl konstruierte, die Fähigkeit der Weissagung be-

sitzen. Er beschränkte sich auf die Erklärung, daß derartige konkrete Darstellungen für seinen Verstand eine unentbehrliche Stütze bilden, daß er ohne sie nicht zur klaren Auffassung einer Theorie gelangen könne.

Die starken Denker, die es nicht nötig haben, um einen abstrakten Gedanken zu begreifen, ihm in einem konkreten Bild Ausdruck zu geben, können den umfassenden aber schwachen Denkern, die das, was weder Farbe noch Form besitzt, nicht leicht begreifen, vernünftigerweise nicht das Recht absprechen, sich die Gegenstände der physikalischen Theorien in ihrer Vorstellung zu zeichnen und zu malen. Das beste Mittel, um die Entwickelung der Wissenschaft zu fördern, besteht darin, jeder Denkart zu gestatten, sich gemäß der ihr eigentümlichen Gesetze zu entwickeln und ihren Typus vollständig auszubilden, d. h. man lasse die starken Denker sich von abstrakten Begriffen und allgemeinen Prinzipien nähren, die umfassenden Denker aber von sichtbaren und greifbaren Dingen oder mit einem Wort, man zwinge die Engländer nicht französisch, noch die Franzosen englisch zu denken. Das Prinzip dieses intellektuellen Liberalismus, das selten verstanden und angewendet wird, hat Helmholtz, der ein so außerordentlich tiefer und starker Denker gewesen, formuliert[1]): „Englische Physiker, wie Lord Kelvin in seiner Theorie der Wirbelatome, und Maxwell in seiner Annahme eines Systemes von Zellen mit rotierendem Inhalt, die er seinem Versuch einer mechanischen Erklärung der elektromagnetischen Vorgänge zugrunde gelegt hat, haben sich offenbar durch ähnliche Erklärungen besser befriedigt gefühlt, als durch die bloße allgemeinste Darstellung der Tatsachen und ihrer Gesetze, wie sie durch die Systeme der Differentialgleichungen der Physik gegeben wird. Ich muß gestehen, daß ich selbst bisher an dieser letzteren Art der Darstellung festgehalten und mich am besten gesichert fühlte; doch möchte ich gegen den Weg, den so hervorragende Physiker, wie die drei genannten eingeschlagen haben, keine prinzipiellen Einwendungen erheben."

[1]) H. von Helmholtz: Vorwort zu: „Die Prinzipien der Mechanik" von H. Hertz, p. XXI.

Übrigens handelt es sich heute für die starken Denker nicht mehr darum, ob sie erlauben wollen, daß die phantasievollen Köpfe Bilder und Modelle gebrauchen, sondern darum, ob sie sich selbst das Recht wahren, den physikalischen Theorien Einheit und logische Ordnung zu geben. Die phantasievollen Köpfe beschränken sich in der Tat nicht mehr auf die Versicherung, daß der Gebrauch konkreter Bilder ihnen für das Verständnis abstrakter Theorien unentbehrlich sei, sondern sie behaupten, allen berechtigten Erfordernissen des Verstandes Rechnung getragen zu haben, wenn sie für jedes Kapitel der Physik ein mechanisches oder angenähertes algebraisches Modell schaffen, das in keiner Verbindung mit dem Modell steht, das zur Illustration des vorangehenden oder folgenden Kapitels dient. Sie behaupten, daß die Bemühungen derjenigen Physiker, die zu einer logischen, auf eine möglichst kleine Zahl unabhängiger und genau formulierter Hypothesen gestützten Theorie gelangen wollen, keinem Bedürfnis eines richtig gebildeten Geistes entsprechen. Infolgedessen sollen diejenigen, die das Amt haben, die Studien zu lenken und die Richtung der wissenschaftlichen Forschung zu bestimmen, die Physiker von dieser nutzlosen Arbeit abhalten.

Was werden wir diesen Behauptungen, die man jeden Augenblick in hundert verschiedenen Formen von allen schwachen und utilitarischen Denkern hört, entgegenhalten, um die Berechtigung, die Notwendigkeit und den Vorzug der abstrakten, logisch geordneten Theorien darzutun?

Was werden wir auf folgende Frage, die uns gegenwärtig so dringend gestellt wird, antworten: Ist es erlaubt, mehrere verschiedene Gruppen von experimentellen Gesetzen, oder sogar eine einzige Gruppe von Gesetzen mit Hilfe mehrerer Theorien zu versinnbildlichen, wenn jede derselben auf Hypothesen beruht, die mit den Hypothesen, auf denen die anderen beruhen, unvereinbar sind?

Auf diese Frage zögern wir nicht, folgendes zu antworten: WENN MAN SICH STRENG AN REIN LOGISCHE ERWÄGUNGEN HÄLT, kann man den Physiker nicht hindern,

verschiedene Gruppen von Gesetzen oder sogar eine einzige Gruppe von Gesetzen durch mehrere unvereinbare Theorien zu beschreiben, man kann den Mangel an Zusammenhang in der physikalischen Theorie nicht verurteilen.

An einer solchen Erklärung würden diejenigen, die eine physikalische Theorie als Erklärung der Gesetze der anorganischen Welt betrachten, argen Anstoß nehmen. Es wäre in der Tat absurd, zu behaupten, daß zwei verschiedene Erklärungen desselben Gesetzes zu gleicher Zeit richtig seien. Es wäre absurd, eine Gruppe von Gesetzen auf Grund der Annahme einer gewissen Konstitution der Materie und eine andere Gruppe auf Grund der Annahme einer ganz anderen Konstitution zu erklären. Die erklärende Theorie muß unbedingt den Schein sogar des Widerspruches vermeiden.

Wenn man aber annimmt, wie wir es zu zeigen gesucht haben, daß eine physikalische Theorie einfach ein System sei, welches eine Gruppe experimenteller Gesetze klassifizieren soll, wie kann man dann aus den Lehren der Logik das Recht zur Verurteilung eines Physikers schöpfen, der verschiedene Klassifikationsverfahren anwendet, um verschiedene Gruppen von Gesetzen zu ordnen oder der für dieselbe Gruppe von Gesetzen mehrere Klassifikationen, die aus verschiedenen Methoden stammen, angibt? Verbietet die Logik den Naturforschern eine Gruppe von Tieren auf Grund des Nervensystems, eine andere Gruppe auf Grund des Blutkreislaufes zu klassifizieren? Wird ein Malakologe eine Absurdität begehen, wenn er nach dem System des Hrn. Bouvier, der die Mollusken nach der Anlage ihrer Nervenfasern gruppiert, das des Hrn. Remy Perrier anführt, der seine Vergleiche auf das Studium des Bojanischen Organes stützt? Ebenso wird ein Physiker das Recht haben, einmal die Materie als kontinuierlich, ein anderes Mal als aus diskreten Atomen bestehend aufzufassen, er wird die Kapillarwirkungen durch Anziehungskräfte, die zwischen den unbeweglichen Teilchen bestehen, erklären und denselben Partikeln schnelle Bewegungen zuschreiben, um von den Wärme-

wirkungen Rechenschaft zu geben. Keine dieser Verschiedenheiten wird die Prinzipien der Logik verletzen.

Die Logik legt augenscheinlich dem Physiker nur eine Bedingung auf: er darf die verschiedenen Klassifikationsverfahren, die er anwendet, nicht miteinander vermengen. Das heißt, wenn er zwischen zwei Gesetzen eine gewisse Verbindung herstellt, muß er ganz genau angeben, durch welche der angegebenen Methoden diese Verbindung gerechtfertigt wird. Das suchte Hr. Poincaré auszudrücken, als er die Worte schrieb[1]), die wir schon zitiert haben: „In der Tat kann von zwei sich widersprechenden Theorien, vorausgesetzt, daß man sie nicht durcheinander wirft, und daß man darin nicht nach dem Ursprung der Erscheinungen sucht, eine jede für sich betrachtet, als nützliches Hilfsmittel für Untersuchungen dienen."

Die Logik liefert daher kein einwandfreies Argument für den, der der physikalischen Theorie eine vollständig widerspruchsfreie Ordnung auferlegen will. Wird man zureichende Gründe für diese Ordnung in dem Prinzip, das in dem Streben der Wissenschaft nach größter Ökonomie des Denkens ausgedrückt ist, finden? Wir glauben nein.

Am Anfang dieses Kapitels haben wir gezeigt, welchen Unterschied verschiedene Denker in der Einschätzung der Gedankenökonomie, die aus einer gewissen intellektuellen Operation hervorgeht, machen können. Wir haben gesehen, daß da, wo ein starker, aber begrenzter Denker eine Erleichterung, ein weiter, aber schwacher Denker ein Anwachsen der Mühe fühlt.

Es ist klar, daß Köpfe, die in der Aufnahme abstrakter Gedanken, in der Bildung allgemeiner Urteile, in der Ableitung strenger Deduktionen geübt, dagegen in einer ein wenig verwickelten Gruppierung leicht verwirrt werden, eine Theorie um so befriedigender, umso ökonomischer finden, je vollkommener ihre Ordnung, je weniger oft ihre Einheit durch Lücken oder Widersprüche gestört sein wird.

---

[1]) H. Poincaré: Électricité et Optique. I. Les théories de Maxwell et la théorie électro-magnétique de la lumière. Introduction, p. IX. (Deutsche Ausgabe von Jäger und Gumlich, p. 3.)

Eine Vorstellungskraft aber, die so umfassend ist, daß sie mit einem einzigen Blick eine verwickelte Gruppierung unzusammenhängender Dinge erfassen kann, und kein Bedürfnis nach Ordnung derselben empfindet, ist im allgemeinen mit einem Verstand verbunden, der so schwach ist, daß er die Abstraktion, Generalisation und Deduktion fürchtet. Die Köpfe, in denen diese zwei Anlagen vereinigt sind, werden finden, daß die beträchtliche logische Arbeit, die die verschiedenen Teile der Theorien zu einem einzigen System zusammenfaßt, ihnen mehr Mühe bereitet als das Erfassen der getrennten Teile. Sie werden keineswegs den Übergang von der Zusammenhangslosigkeit zur Einheit als ökonomische Denkoperation betrachten.

Weder das Prinzip des Widerspruches, noch das Gesetz der Ökonomie des Denkens erlauben in unwiderlegbarer Weise zu beweisen, daß eine physikalische Theorie logisch geordnet sein muß. Woher werden wir ein Argument zugunsten dieser Meinung nehmen?

Die Meinung ist berechtigt, denn sie stammt aus einem uns angeborenen Gefühl, das mit rein logischen Betrachtungen nicht bewiesen, aber auch nicht vollständig erstickt werden kann. Selbst diejenigen, die Theorien aufgestellt haben, deren einzelne Teile nicht miteinander übereinstimmen, die ebensoviel verschiedene voneinander getrennte mechanische oder algebraische Modelle beschreiben, wie ihr Buch Kapitel hat, tun es nur mit Bedauern, mit Widerwillen. Man muß bloß das Vorwort lesen, das Maxwell an die Spitze seines Lehrbuches der Elektrizität und des Magnetismus, in dem es unlösbare Widersprüche im Überfluß gibt, gesetzt hat, um zu erkennen, daß diese Widersprüche weder gesucht noch willkommen waren, daß der Autor vielmehr eine widerspruchsfreie Theorie des Elektromagnetismus zu erhalten wünschte. Lord Kelvin hofft bei der Konstruktion seiner unzähligen Modelle unaufhörlich, daß einst der Tag kommen werde, an dem eine mechanische Erklärung der Materie möglich wird. Er schmeichelt sich, daß seine Modelle den Weg abstecken, der zur Entdeckung dieser Erklärung führen wird.

Jeder Physiker strebt natürlich nach der Einheit der Wissenschaft. Das ist der Grund, warum der Gebrauch unzusammenhängender und unvereinbarer Modelle erst seit wenigen Jahren in Vorschlag gebracht wurde. Sowohl der Verstand, der nach einer Theorie verlangt, deren Teile alle logisch geordnet sind, als auch die Vorstellungskraft, die den verschiedenen Teilen der Theorie in konkreten Vorstellungen Ausdruck geben will, hätten, wenn eine vollständige und detaillierte, mechanische Erklärung der Gesetze der Physik erreichbar gewesen wäre, in ihr das Ziel ihrer Tendenzen zu erlangen geglaubt. Daher rührt das Feuer, mit dem während langer Zeit die Theoretiker sich um eine derartige Erklärung bemühten. Als die Vergeblichkeit dieser Anstrengungen klar gezeigt hatte, daß eine derartige Erklärung eine Schimäre[1]) sei, mußten die Physiker, die zur Überzeugung gekommen waren, daß es unmöglich sei, gleichzeitig den Bedürfnissen des Verstandes und denen der Vorstellungskraft zu genügen, eine Wahl treffen. Die starken und tiefen Denker, die vor allem unter der Herrschaft des Verstandes stehen, verzichteten darauf, von der physikalischen Theorie die Erklärung der Naturgesetze zu verlangen, um dadurch die Einheit und Strenge zu retten. Die umfassenden aber schwachen Denker verzichteten unter dem Einfluß der Vorstellungskraft, die bei ihnen mächtiger als der Verstand ist, darauf, ein logisches System aufzubauen, um die Teile ihrer Theorie in sichtbarer und greifbarer Gestalt aufstellen zu können. Aber der Verzicht dieser letzteren — oder wenigstens derjenigen, deren Meinung es verdient in Betracht gezogen zu werden — war niemals vollständig und endgültig. Sie gaben ihre vereinzelten und unzusammenhängenden Konstruktionen stets nur als Notbaracken, als Gerüste, die wieder zu verschwinden haben, aus. Sie gaben die Hoffnung nicht auf, daß eines Tages ein genialer Architekt ein Gebäude herstellen würde, dessen Teile nach einem vollkommen einheitlichen Plan angeordnet sind. Nur diejenigen, die vorgeben, daß sie die Kraft des Denkens geringschätzen, um den Glauben zu erwecken, daß sie Weite desselben

[1]) Wegen näherer Details über diesen Punkt sei auf mein Werk: L'Évolution de la Mécanique, Paris 1903, verwiesen.

besitzen, sind so weit herabgestiegen, diese Gerüste für ein vollendetes Monument zu nehmen.

So fühlen alle, die fähig sind zu überlegen, die sich über ihre eigenen Gedanken Rechenschaft geben können, in sich dieses ununterdrückbare Streben nach der logischen Einheit der physikalischen Theorie. Dieses Streben nach einer Theorie, deren Teile sich in logischer Übereinstimmung befinden, ist andererseits unzertrennlich mit jenem anderen verbunden, dessen unwiderstehliche Macht wir schon konstatiert haben[1]), mit dem Streben nach einer Theorie, die eine naturgemäße Klassifikation der physikalischen Gesetze ergibt. Wir fühlen in der Tat, daß, wenn die wirklichen Beziehungen der Dinge, die durch die Methoden, die der Physiker benützt, nicht gefaßt werden können, sich bis zu gewissem Grade in unseren physikalischen Theorien spiegeln, dieses Spiegelbild Ordnung und Einheit besitzen muß. Es ginge über die Hilfsmittel der Physik hinaus, wollte man mit zwingenden Gründen zu beweisen versuchen, daß dieses Gefühl der Wahrheit entsprechend sei. Wie können wir aber die Eigentümlichkeiten, die dieses Spiegelbild aufweisen soll, angeben, wenn die Objekte, aus denen dieser Reflex hervorgeht, uns nicht sichtbar sind? Und dennoch entsteht dieses Gefühl in uns mit unwiderstehlicher Gewalt, und wer in ihm nur ein Trugbild, eine Illusion sehen wollte, könnte allerdings nicht durch das Widerspruchsprinzip zum Schweigen gebracht werden, er würde aber vom gesunden Menschenverstand in den Bann getan.

In diesem wie in allen anderen Fällen kann die Wissenschaft die Berechtigung ihrer eigenen Prinzipien, die ihre Methoden bestimmt und ihre Untersuchungen leitet, nur dartun, wenn sie sich auf den gesunden Menschenverstand beruft. Am Grunde unserer am klarsten formulierten, am strengsten abgeleiteten Lehren, finden wir immer wieder diesen ungeordneten Haufen von Tendenzen, Bestrebungen und Intuitionen. Es gibt keine Analyse, die so tiefgehend wäre, um sie voneinander zu trennen, um sie in einfachere Elemente zu

[1]) Siehe Kapitel II, § 4.

zerlegen. Keine Sprache ist genügend, genau und schmiegsam, um sie zu definieren und zu formulieren. Und doch sind die Wahrheiten, die uns der gesunde Menschenverstand offenbart, so klar und so gewiß, daß wir sie weder mißverstehen, noch in Zweifel ziehen können. Noch mehr, alle wissenschaftliche Klarheit und Sicherheit ist nur ein Reflex ihrer Klarheit und eine Erweiterung ihrer Sicherheit.

Der Verstand besitzt daher kein logisches Argument, das eine physikalische Theorie hindern könnte, die Ketten der logischen Strenge zu brechen, aber „die Natur unterstützt den ohnmächtigen Verstand und hindert ihn soweit, vom rechten Wege abzuschweifen“[1]).

[1]) Pascal: Pensées édition Havet, art. 8.

ZWEITER TEIL.

DIE STRUKTUR DER PHYSIKALISCHEN THEORIEN.

Fünftes Kapitel.

Quantität und Qualität.

§ 1. — Theoretische Physik ist mathematische Physik.

Die Erörterungen des ersten Teiles dieser Schrift haben uns genau über das Ziel, das sich ein Physiker bei der Aufstellung einer Theorie setzen muß, aufgeklärt.

Eine physikalische Theorie wird demnach ein System logisch aneinandergeketteter Lehrsätze, nicht aber eine unzusammenhängende Folge mechanischer oder algebraischer Modelle sein. Dieses System soll uns nicht eine Erklärung, sondern eine Darstellung und naturgemäße Klassifikation einer Gruppe von Gesetzen geben.

Die Forderung, daß eine große Zahl von Lehrsätzen in vollständiger, logischer Ordnung verkettet seien, ist weder gering noch leicht zu erfüllen. Die Erfahrung der Jahrhunderte zeigt uns, wie sich ein Fehlschluß in eine Reihe vollständig tadelloser Schlußfolgerungen einschleichen kann.

Es gibt indessen eine Wissenschaft, in der die Logik einen solchen Grad der Vollkommenheit erreicht hat, daß in ihr Irrtümer leicht zu vermeiden und wenn sie dennoch begangen wurden, leicht zu erkennen sind: Diese Wissenschaft ist die Wissenschaft der Zahlen, die Arithmetik und deren Erweiterung, die Algebra. Diese Vollkommenheit verdankt sie einer symbolischen Sprache von äußerster Kürze, in der jeder Begriff durch ein Zeichen, dessen Definition jede Zweideutigkeit ausschließt, dargestellt wird, in der jede Stufe der deduktiven Überlegung durch eine Operation, die die Zeichen nach streng festgelegten Regeln kombiniert, durch eine Rechnung, deren Genauigkeit immer leicht feststellbar ist, ersetzt wird.

Diese kurze und genaue Sprache sichert der Algebra Fortschritte, wie sie bei den einander feindlichen Doktrinen und Kämpfen der scholastischen Schulen nicht oder fast nicht bekannt sind.

Einer der Ruhmestitel der Geisteshelden, die das 16. und 17. Jahrhundert zierten, bestand in der Erkenntnis folgender Wahrheit: Die Physik wird keine klare, genaue Wissenschaft werden, sie wird von den fortwährenden, unfruchtbaren Streitigkeiten, deren Gegenstand sie bis dahin gewesen, nicht befreit, ihre Lehren werden nicht die Zustimmung aller Köpfe finden können, solange sie sich nicht der Sprache der Mathematik bedienen wird. Sie haben die wahre theoretische Physik geschaffen, indem sie begriffen, daß sie mathematische Physik sein müsse.

Die im 17. Jahrhundert geschaffene mathematische Physik hat durch die erstaunlichen und unaufhörlichen Fortschritte im Studium der Natur bewiesen, daß sie die gesunde, physikalische Methode verkörpere. Heute würde man beim primitivsten gesunden Menschenverstand Anstoß erregen, wollte man leugnen, daß die theoretische Physik sich in der Sprache der Mathematik ausdrücken müsse.

Damit sich eine physikalische Theorie in der Form einer Kette algebraischer Rechnungen darstellen lasse, ist es nötig, daß alle Begriffe, deren sie sich bedient, durch Zahlen darstellbar seien. Wir sind somit so weit gekommen, uns folgende Frage vorzulegen: Unter welcher Bedingung kann eine physikalische Eigenschaft durch ein numerisches Symbol bezeichnet werden?

§ 2. — Quantität und Maß.

Die erste Antwort auf die gestellte Frage, die im Kopfe entsteht, ist folgende: Damit eine Eigenschaft, die wir in den Körpern finden, sich durch ein numerisches Symbol ausdrücken lasse, ist es notwendig und hinreichend, daß, in der Sprache von Aristoteles gesprochen, diese Eigenschaft in die Kategorie der Quantität und nicht in die Kategorie der Qualität gehöre. Es ist notwendig und hinreichend, daß diese Eigen-

schaft, um in einer von den modernen Mathematikern lieber verwendeten Sprache zu sprechen, eine Größe sei.

Welches sind nun die wichtigsten Kennzeichen einer Größe? Woran erkennen wir z. B., daß die Länge einer Geraden eine Größe ist?

Wenn wir verschiedene Längen miteinander vergleichen, stoßen wir auf den Begriff der gleichen und den der ungleichen Längen. Diese Begriffe ergeben folgende zwei wesentlichen Kennzeichen:

Zwei Längen, die derselben Länge gleich sind, sind auch untereinander gleich.

Wenn eine Länge größer ist als eine zweite und diese größer als eine dritte, so ist auch die erste Länge größer als die dritte.

Diese zwei Kennzeichen ermöglichen es uns schon auszudrücken, daß zwei Längen A und B untereinander gleich sind, indem wir von dem arithmetischen Zeichen $=$ Gebrauch machen und schreiben $A = B$. Ebenso ermöglichen sie uns auszudrücken, daß die Länge A größer als die Länge B ist, indem wir schreiben, $A > B$ oder $B < A$. In der Tat sind die einzigen Eigenschaften der Zeichen der Gleichheit oder Ungleichheit, auf die man sich in der Arithmetik oder Algebra beruft, die folgenden:

1. Die zwei Gleichungen $A = B$, $B = C$ haben die Gleichung $A = C$ zur Folge.

2. Die zwei Ungleichungen $A > B$, $B > C$ haben die Ungleichung $A > C$ zur Folge.

Diese Eigenschaften besitzen die Gleichheits- und Ungleichheitszeichen auch dann noch, wenn sie bei den Untersuchungen über Längen verwendet werden.

Setzen wir einige Längen A, B, C ... aneinander, so erhalten wir eine neue Länge S; diese resultierende Länge S ist größer als jede der gegebenen Längen A, B, C; sie bleibt unverändert, wenn man die Reihenfolge, in der sie aneinandergesetzt werden, ändert; sie ändert sich auch dann nicht, wenn man einige der Längen, die sie bilden, z. B. B, C, durch die Länge, die man durch deren Zusammensetzung erhält, ersetzt.

Diese wenigen Kennzeichen ermöglichen es uns, die arithmetischen Zeichen der Addition zur Darstellung der Operation,

die darin besteht, mehrere Längen aneinanderzusetzen, zu gebrauchen und zu schreiben $S = A + B + C + \ldots$

Tatsächlich können wir nach dem, was gesagt wurde, schreiben:

$$A + B > A, \quad A + B > B$$
$$A + B = B + A$$
$$A + B + C = A + (B + C).$$

Diese Gleichungen und Ungleichungen stellen die einzigen, grundlegenden Postulate der Arithmetik dar; es erstrecken sich somit alle in der Arithmetik für die Kombination von Zahlen aufgestellten Rechnungsregeln auch auf Längen.

Die nächstliegende derselben ist die der Multiplikation; eine Länge, die durch das Aneinandersetzen von n Längen, die untereinander und einer Länge A gleich sind, erhalten wird, kann durch das Zeichen $A \times n$ dargestellt werden. Diese Erweiterung bildet den Ausgangspunkt für das Messen von Längen, das uns ermöglicht, jede Länge durch eine Zahl auszudrücken, die in Verbindung mit einer bestimmten ein für allemal gewählten Normaleinheit gebraucht wird.

Wählen wir nun eine solche Längeneinheit, z. B. das Meter, d. h. die Länge, die durch ein unter genau festgelegten Bedingungen im „Bureau international des poids et mesures" aufbewahrtes, bestimmtes Stück Metall dargestellt wird.

Bestimmte Längen können dadurch dargestellt werden, daß man n Längen von je einem Meter aneinandersetzt. Die Zahl n in Verbindung mit der Bezeichnung Meter stellt dann vollständig eine solche Länge dar, die wir als eine Länge von n Meter bezeichnen.

Gewisse andere Längen können nicht in dieser Art hergestellt werden. Es kann dies dagegen geschehen, indem man p gleiche Teile aneinandersetzt, wobei angenommen sei, daß die Aneinandersetzung von q derselben die Länge eines Meters ergebe; eine solche Länge wird dann vollständig bekannt sein, wenn man den Bruch $\frac{p}{q}$ in Verbindung mit der Bezeichnung Meter kennt. Es wird dies eine Länge von $\frac{p}{q}$ Meter sein.

Eine inkommensurable Zahl — auch wieder in Verbindung mit der Bezeichnung des Normalmaßes — wird es ermöglichen, in gleicher Weise jede Länge, die in keine der zwei von uns definierten Kategorien gehört, darzustellen. Mit einem Wort, es wird irgend eine Länge dann vollständig bekannt sein, wenn wir sagen, daß es eine Länge von x Meter sei, wobei x eine ganze, gebrochene oder inkommensurable Zahl ist.

Somit kann die symbolische Addition $A+B+C+\ldots$, durch die wir die Operation der Aneinanderfügung mehrerer Längen darstellen, durch eine wirkliche arithmetische Addition ersetzt werden. Sie ermöglicht uns, jede der Längen A, B, C mit einer Einheit, z. B. mit dem Meter zu messen. Wir erhalten so die Zahlen a, b, $c\ldots$ der Meter. Die Länge S, die durch die aneinandergefügten Längen A, B, C gebildet wurde, wird, wenn man sie auch in Metern ausdrückt, durch eine Zahl s dargestellt, die die arithmetische Summe der Zahlen a, b, c, die das Maß der Längen A, B, $C\ldots$ bilden, sein wird. Die symbolische Gleichung zwischen den zusammengefügten Längen und der resultierenden Länge

$$A+B+C\ldots=S$$

wird durch die arithmetische Gleichung zwischen den Zahlangaben der Meter, die diese Längen darstellen,

$$a+b+c+\ldots=s$$

ersetzt.

So können wir die Zeichen der Arithmetik und Algebra, die geschaffen wurden, um Operationen mit den Zahlen auszuführen, mit Hilfe der Wahl einer Längeneinheit und des Messens auch zur Darstellung von Operationen, die an Größen ausgeführt werden, benützen.

Das, was wir von den Längen gesagt haben, können wir bezüglich der Flächen, der Volumina, der Winkel und der Zeiten wiederholen. Alle physikalischen Eigenschaften, die Größen sind, weisen analoge Kennzeichen auf. Immer sehen wir, wie die verschiedenen Werte einer Größe Beziehungen der Gleichheit oder Ungleichheit bilden, die durch die Zeichen $=$, $>$, $<$ dargestellt werden können; immer können wir eine solche Größe einer Operation unterwerfen, die sowohl kommutativ wie

assoziativ ist und infolgedessen durch das arithmetische Symbol der Addition, durch das Zeichen + dargestellt werden kann. Durch eine solche Operation wird das Maß in die Untersuchung dieser Größe eingeführt und die vollständige Definition durch die Vereinigung einer ganzen, gebrochenen oder inkommensurablen Zahl mit einer Normaleinheit ermöglicht. Eine derartige Verbindung ist unter dem Namen benannte Zahl bekannt.

§ 3. — Quantität und Qualität.

Das wesentliche Merkmal jeder Eigenschaft, die in die Kategorie der Quantität gehört, ist daher das folgende: Jeder Größenwert einer Quantität kann immer auf dem Wege der Addition aus kleineren Werten derselben Quantität gebildet werden. Jede Quantität besteht auf Grund einer kommutativen und assoziativen Operation in der Vereinigung von Quantitäten, die kleiner als die erstere, aber von derselben Art wie sie, sind, und deren Teile bilden.

Dieses Merkmal drückte die peripathetische Philosophie durch folgende Formel aus, die zu kurz gefaßt war, um alle Details des Gedankens vollständig klarzumachen: Die Quantität ist das, was Teile hat, von denen die einen sich außerhalb der anderen befinden.

Jede Eigenschaft, die nicht eine Quantität ist, ist eine Qualität.

„Qualität," sagt Aristoteles, „ist eines jener Worte, die in mehrfachem Sinn gebraucht werden." Qualität ist die Gestalt einer geometrischen Figur, die aus einem Kreis oder einem Dreieck besteht; Qualitäten sind die wahrnehmbaren Eigenschaften der Körper, das Warme und Kalte, das Helle und Dunkle, das Rote und Blaue; gesund sein, eine Qualität; tugendhaft sein, eine Qualität; Grammatiker, Geometer oder Musiker sein, alles Qualitäten.

„Es gibt Qualitäten," fügt der Stagirit hinzu, die dem Mehr oder Minder nicht zugänglich sind. Ein Kreis kann nicht mehr oder minder kreisförmig, ein Dreieck nicht mehr oder minder dreieckig sein. Aber der Hauptteil der Qualitäten ist dem

Mehr oder Minder zugänglich; sie sind fähig, Intensität zu besitzen; ein weißes Ding kann weißer werden".

Im ersten Augenblick kann man versucht sein, eine Verwandtschaft zwischen den verschiedenen Intensitäten derselben Qualität und den verschiedenen Größenwerten derselben Quantität herzustellen; man würde das Steigen der Intensität (intensio) oder das Fallen der Intensität (remissio) mit dem Wachsen oder Abnehmen einer Länge, einer Fläche, eines Volumens vergleichen.

A, B, C . . . sind verschiedene Mathematiker. *A* kann ein ebenso guter, besserer oder weniger guter Mathematiker als *B* sein. Wenn *A* ein ebenso guter Mathematiker als *B* und *B* ein ebenso guter wie *C* ist, ist auch *A* ein ebenso guter Mathematiker wie *C*. Wenn *A* ein besserer Mathematiker als *B* ist, und *B* ein besserer als *C*, so ist auch *A* ein besserer Mathematiker als *C*.

A, B, C . . . sind rote Stoffe, deren Nuancen wir vergleichen. Der Stoff *A* kann ein ebenso, mehr, oder minder lebhaftes Rot besitzen als der Stoff *B*. Wenn die Nuance von *A* ebenso lebhaft ist, wie die von *B* und die Nuance von *B* ebenso wie die von *C*, so ist auch die Nuance von *A* ebenso lebhaft wie die von *C*. Wenn der Stoff *A* ein lebhafteres Rot besitzt, als der Stoff *B* und dieser ein lebhafteres als der Stoff *C*, so besitzt auch der Stoff *A* ein lebhafteres Rot als der Stoff *C*.

So kann man mit Hülfe der Zeichen $=, >, <$ ausdrücken, daß zwei Qualitäten derselben Art von gleicher oder ungleicher Intensität sind. Sie behalten dieselben Eigenschaften wie in der Arithmetik.

Hier hört die Analogie zwischen den Quantitäten und Qualitäten auf.

Eine große Quantität kann immer, wie wir gesehen haben, durch Addition einer gewissen Zahl kleiner Quantitäten derselben Art gebildet werden. Die große Zahl Körner, die sich in einem Getreidesack befindet, kann stets durch die Vereinigung von Getreidehaufen, deren jeder aus einer kleineren Quantität Körner besteht, erhalten werden. Ein Jahrhundert

ist eine Reihe von Jahren, ein Jahr eine Reihe von Tagen, Stunden und Minuten. Ein mehrere Meilen langer Weg wird durchschritten, indem die kleinen Stücke, die der Wanderer bei jedem Schritt zurücklegt, aneinandergefügt werden. Ein Feld von großer Ausdehnung kann in kleinere Flächen parzelliert werden.

Etwas Derartiges gibt es in der Kategorie der Qualität nicht. Bringt man einen Kongreß von soviel mittelmäßigen Mathematikern, als man nur irgend auftreiben kann, zusammen, so hat man doch kein Äquivalent eines Archimedes oder Lagrange. Näht man dunkelrote Stofflappen aufeinander, so ist das erhaltene Stück deswegen nocht nicht lebhaft rot.

Eine Qualität gewisser Art und gewisser Intensität geht in keiner Weise aus mehreren Qualitäten derselben Art und geringerer Intensität hervor. Jede Intensität einer Qualität hat ihre eigenen individuellen Kennzeichen, die sie absolut von den niederen und höheren Intensitäten unterscheiden. Eine Qualität von gewisser Intensität enthält nicht als integrierenden Bestandteil dieselbe Qualität von niederer Intensität. Sie geht nicht als Teil in die Zusammensetzung derselben intensiver gemachten Qualität ein. Siedendes Wasser ist wärmer als siedender Alkohol und dieser wärmer als siedender Äther. Aber weder der Wärmegrad des siedenden Alkohols noch der des siedenden Äthers sind Teile des Wärmegrades des siedenden Wassers. Wer sagen wollte, daß die Wärme[1]) des siedenden Wassers die Summe der Wärmen des siedenden Alkohols und des siedenden Äthers seien, würde einen Unsinn aussprechen. Diderot fragte scherzweise, wieviel Schneeballen zur Heizung eines Ofens notwendig seien; die Frage ist nur für den, der Qualität und Quantität verwechselt, verwickelt.

So findet man in der Kategorie der Qualität nichts, das der Bildung einer großen Quantität aus kleinen Quantitäten, die deren Teile sind, gleicht; man findet keine Operation, die kommutativ und assoziativ ist, die den Namen Addition ver-

[1]) Selbstverständlich nehmen wir hier das Wort Wärme im Sinn der gewöhnlichen Sprache, der nichts mit dem zu tun hat, was die Physiker unter dem Wort Wärmequantität verstehen.

dienen und durch das Zeichen + dargestellt werden könnte. Auf Grund der Qualität hätte das Maß, das aus dem Begriff der Addition hervorgeht, nicht festgestellt werden können.

§ 4. — Die rein quantitative Physik.

Die algebraische Sprache ist stets, wenn eine Eigenschaft der Messung zugänglich, wenn sie eine Quantität ist, geeignet, die verschiedenen Werte derselben auszudrücken. Können nun nur die Quantitäten algebraisch ausgedrückt werden und ist dies bei den Qualitäten vollständig unmöglich? Die Philosophen, die im XVII. Jahrhundert die mathematische Physik geschaffen, haben dies gewiß gedacht. Daher mußten sie, um die mathematische Physik, die ihnen als Ziel vorschwebte, zu realisieren, die Bedingung aufstellen, daß ihre Theorien ausschließlich von Quantitäten handeln und daß jeder qualitative Begriff aus denselben streng verbannt bleibe.

Überdies sahen alle diese Philosophen in der physikalischen Theorie nicht die Darstellung, sondern die Erklärung der aus der Erfahrung abgeleiteten Gesetze. Die Begriffe, die diese Theorie in ihren Ausdrücken kombinierte, waren für sie nicht Zeichen und Symbole der sinnlichen Eigenschaften, sondern der eigentliche Ausdruck der Realität, die sich hinter diesen Erscheinungen verbirgt. Das Universum, das sich unseren Sinnen als ein ungeheurer Zusammenhang von Qualitäten darbietet, müßte daher der Vernunft als System von Quantitäten offenbar werden.

Die Wünsche, die allen großen wissenschaftlichen Reformatoren zu Beginn des XVII. Jahrhunderts gemein waren, fanden ihre Erfüllung in der Begründung der Cartesianischen Philosophie.

Die vollständige Verdrängung der Qualitäten aus dem Studium der materiellen Dinge ist das Ziel und auch das Charakteristikum der Cartesianischen Physik.

Unter den Wissenschaften ist allein die Arithmetik und deren Erweiterung, die Algebra, rein von jedem der Kategorie der Qualität entlehnten Begriffe; sie allein entspricht dem Ideal, das Descartes der ganzen Naturwissenschaft zuweist.

Schon in der Geometrie stößt der Geist auf das qualitative Element, denn diese Wissenschaft bleibt „so sehr an die Betrachtung der Figuren gebunden, daß sie nicht das Verständnis üben kann, ohne die Phantasie sehr zu ermüden". — „Die Bedenken, die die Alten gegen die Anwendung der Ausdrücke der Arithmetik in der Geometrie erhoben, die nur deshalb nicht fortschreiten konnte, weil sie deren Beziehung zu ersterer nicht klar genug erkannten, verursachten viel Unklarheit und Verwirrung in der Art, wie sie sich ausdrückten." Diese Unklarheit, diese Verwirrung wird verschwinden, wenn man aus der Geometrie den qualitativen Begriff der Form und Gestalt ausschaltet und in ihr nur den quantitativen Begriff des Abstandes, nur die Gleichungen, die die gegenseitigen Abstände der verschiedenen Punkte, die man studiert, miteinander verbinden, aufrecht erhält. Obwohl ihre Objekte ganz verschiedene Natur besitzen, sehen die verschiedenen Zweige der Mathematik in diesen Objekten nichts anderes, als die verschiedenen Verhältnisse oder Proportionen, die sich in ihnen finden, und zwar derart, daß es genügt, diese Verhältnisse im allgemeinen nach den Methoden der Algebra zu behandeln, ohne sich um die Objekte, in denen sie sich finden, um die Figuren, in denen sie realisiert sind, zu kümmern; dadurch „reduziert sich alles, was der Behandlung der Mathematiker unterliegt, auf das gleiche Problem, das darin besteht, den Wert der Wurzeln einer Gleichung zu suchen". Die ganze Mathematik ist auf die Wissenschaft der Zahlen zurückgeführt, man behandelt in ihr nur Quantitäten, die Qualitäten haben in ihr keinen Platz.

Nachdem die Qualitäten aus der Geometrie ausgemerzt sind, muß man sie nun auch aus der Physik verbannen. Um das zu erreichen, genügt es, die Physik auf Mathematik zu reduzieren, die die einzig auf Quantität gegründete Wissenschaft ist. Das ist das Werk, das Descartes auszuführen versuchte.

„Ich erhalte keine Prinzipien in der Physik," sagt er, „die nicht auch in der Mathematik erhalten werden." — „Denn ich gestehe[1]) offen, daß ich keine andere Materie der körperlichen

[1]) Descartes: Principia Philosophiae, Pars II, art. LXIV.

Dinge anerkenne, als jene durchaus teilbare, gestaltbare und bewegliche, welche die Geometer die Größe nennen und zu dem Gegenstande ihrer Beweise machen, und daß ich in ihr nur diese Teilungen, Gestalten und Bewegungen beachte und nichts an ihnen als wirklich anerkenne, was sich nicht aus jenen Gemeinbegriffen, an deren Wahrheit man nicht zweifeln kann, so klar ergibt, daß es als mathematisch bewiesen gelten kann. Da nun alle Naturerscheinungen hieraus erklärt werden können, wie das folgende ergeben wird, so halte ich andere Prinzipien der Naturwissenschaft weder für zulässig noch für wünschenswert."

Was ist nun vor allem die Materie? „Ihre Natur besteht nicht[1]) in der Härte, noch in der Schwere, Wärme oder anderen Qualitäten dieser Art," sondern nur in „der Ausdehnung nach Länge, Breite und Tiefe," in dem „was die Geometer Quantität nennen" oder Volumen. Die Materie ist daher Quantität; die Quantität einer gewissen Materie besteht in dem Volumen, das sie einnimmt; ein Schiff enthält gleichviel Materie, ob es nun mit Quecksilber oder mit Luft gefüllt ist. „Diejenigen, die behaupten[2]), daß sie die materielle Substanz von der Ausdehnung und der Quantität unterscheiden, denken sich entweder unter dem Worte Substanz nichts oder teilen der körperlichen Substanz fälschlich die verworrene Vorstellung einer unkörperlichen Substanz zu."

Was ist die Bewegung? Auch eine Quantität. Multiplizieren wir die Quantität der Materie eines jeden Körpers eines Systems mit der Geschwindigkeit, die dieser Körper besitzt und addieren wir alle diese Produkte, so erhalten wir die Bewegungsquantität des Systems. So lange dieses System an keinen fremden Körper, der ihm Bewegung erteilt oder entnimmt, anstößt, behält es eine unveränderliche Bewegungsquantität.

So ist im ganzen Universum eine einzige, homogene, inkompressible und undilatierbare Materie ausgebreitet, von der wir nichts wissen, außer daß sie ausgedehnt sei; diese Materie

[1]) Descartes: loc. cit. Pars II, art. IV.
[2]) Descartes: loc. cit. Pars II, art. IX.

ist in Teile von verschiedener Gestalt zerlegbar und diese Teile können sich gegeneinander bewegen; dies sind die einzigen wirklichen Eigenschaften, aus denen die Körper gebildet sind; auf diese Eigenschaften müssen sich alle scheinbaren Qualitäten, die auf unsere Sinne wirken, zurückführen lassen. Die Aufgabe der Cartesianischen Physik besteht in der Erklärung, wie diese Zurückführung stattfindet.

Was ist die Schwere? Die Wirkung, die durch Wirbel aus feiner Materie auf die Körper ausgeübt wird. Was ist ein warmer Körper? Ein Körper, „der aus kleinen Teilen zusammengesetzt ist, die sich getrennt gegeneinander mit sehr schneller und sehr heftiger Geschwindigkeit bewegen". Was ist das Licht? Ein Druck, der auf den Äther durch die Bewegung der glühenden Körper ausgeübt und augenblicklich in die größten Entfernungen übertragen wird. Alle Qualitäten der Körper ohne Ausnahme finden ihre Erklärung in einer Theorie, in der man nur den geometrischen Raum, die verschiedenen Gestalten, die man in ihm abgrenzen kann und die verschiedenen Bewegungen, denen diese Figuren zugänglich sind, betrachtet. „Das Universum ist eine Maschine, in der es nichts zu betrachten gibt, als die Gestalten und die Bewegungen ihrer Teile." So wird die ganze Wissenschaft von der materiellen Natur auf eine Art universeller Arithmetik zurückgeführt, in der die Kategorie der Qualität radikal ausgemerzt ist.

§ 5. — Die verschiedenen Intensitäten derselben Qualität sind durch Zahlen ausdrückbar.

Nach unserer Auffassung hat die theoretische Physik nicht die Möglichkeit, unter den sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungen die wirklichen Eigenschaften der Körper zu erfassen. Sie kann daher nicht, ohne über die rechtmäßigen Grenzen ihrer Methoden hinauszugehen, entscheiden, ob diese Eigenschaften qualitativ oder quantitativ seien. Da der Cartesianismus über diesen Punkt eine Behauptung aufstellt, macht er Ansprüche geltend, die uns nicht erfüllbar erscheinen.

Die theoretische Physik erfaßt nicht die Realität der Dinge, sie beschränkt sich darauf, die wahrnehmbaren Erscheinungen

durch Zeichen, durch Symbole darzustellen. Wenn wir nun wollen, daß unsere theoretische Physik eine mathematische Physik sei, werden unsere Symbole algebraische Symbole, Combinationen von Zahlen sein. Wenn daher nur die Größen durch Zahlen ausgedrückt werden können, werden wir in unsere Theorie nur Begriffe, die Größen sind, einführen dürfen. Ohne die Behauptung aufzustellen, daß im letzten Grund der materiellen Dinge alles Quantität sei, würden wir nichts als das quantitative in dem Bilde der Gesamtheit der physikalischen Gesetze, die wir konstruieren, festhalten; der Qualität würde in unserem System kein Platz zukommen.

Die genannte Behauptung muß man nun keineswegs unterschreiben. Der rein qualitative Charakter eines Begriffes ist nicht damit unvereinbar, daß die Zahlen zur Darstellung der verschiedenen Werte desselben dienen; dieselbe Qualität kann in einer Unzahl verschiedener Intensitäten auftreten; diese verschiedenen Intensitäten kann man sozusagen kotieren, numerieren, indem man in zwei Fällen, in denen die gleiche Qualität mit derselben Intensität auftritt, die gleiche Zahl setzt und durch eine zweite höhere Zahl einen anderen Fall bezeichnet, in dem die betrachtete Qualität intensiver ist, als im ersten Fall.

Zum Beispiel besteht eine Qualität darin, daß man Mathematiker ist. Wenn eine gewisse Zahl junger Mathematiker sich einer Prüfung unterziehen, erteilt der Examinator, der sie beurteilen muß, einem jeden von ihnen eine Note und zwar gibt er zwei Kandidaten, die er für gleich gute Mathematiker hält, dieselbe Note, diesem aber eine bessere Note als jenem, wenn er den ersteren für einen besseren Mathematiker hält.

Ein Kaufmann ordnet Stoffstücke, deren Rot von verschiedener Intensität ist, in seine Regale ein und bezeichnet sie mit Zahlen, jeder Nummer entspricht eine ganz bestimmte Nuance des Rot; je höher die Nummer ist, eine umso lebhaftere Intensität besitzt das Rot.

Vor uns liegen erhitzte Körper; der erste Körper ist ebenso warm, wärmer, oder weniger warm als der zweite Körper; dieser Körper ist in diesem Augenblick wärmer oder weniger warm, als jener andere. Jeder Teil eines Körpers erscheint uns, so

klein man ihn auch annimmt, mit einer gewissen Qualität, die wir Wärme nennen, versehen und die Intensität dieser Qualität ist nicht im gleichen Augenblick in jedem Teil des Körpers dieselbe; im selben Punkt des Körpers variiert sie von einem Augenblick zum anderen.

Wir könnten in unseren Überlegungen von dieser Qualität, der Wärme und ihren verschiedenen Intensitäten sprechen; aber, wenn wir soviel als möglich die Sprache der Algebra anwenden wollen, werden wir die Betrachtung dieser Qualität, die Wärme durch die eines numerischen Symbols, die Temperatur ersetzen.

Die Temperatur wird eine jedem Punkt eines Körpers in jedem Augenblick zugeschriebene Zahl sein. Sie ist an die Wärme, die in diesem Punkt und in diesem Augenblick herrscht, gebunden. Zwei gleich intensiven Wärmen werden zwei numerisch gleiche Temperaturen entsprechen; wenn es in einem Punkte wärmer ist als im anderen, so ist die Temperatur des ersteren eine größere Zahl, als die des zweiten.

Wenn daher M, M', M'' verschiedene Punkte und T, T', T'', die Zahlen, die deren Temperatur ausdrücken, sind, so hat die arithmetische Gleichung $T = T'$ den gleichen Sinn, wie folgender Satz: Es ist eben so warm im Punkte M', wie im Punkte M. Die arithmetische Umgleichung $T > T'$ ist gleichbedeutend mit dem Satz: Es ist im Punkte M' wärmer, als im Punkt M''.

Der Gebrauch einer Zahl, der Temperatur, zur Darstellung der verschiedenen Intensitäten einer Qualität, der Wärme, beruht vollständig auf folgenden zwei Lehrsätzen:

Wenn der Körper A ebenso warm ist, wie der Körper B und der Körper B ebenso warm, wie der Körper C, ist auch der Körper A ebenso warm, wie der Körper C.

Wenn der Körper A wärmer ist, als der Körper B und der Körper B wärmer, als der Körper C, so ist auch der Körper A wärmer, als der Körper C.

Diese beiden Lehrsätze genügen in der Tat dafür, daß durch die Zeichen $=$, $>$, $<$ die Beziehungen, die die verschiedenen Wärmeintensitäten miteinander haben können, ausdrückbar

werden, ebenso, wie sie die Darstellung der gegenseitigen Beziehungen der Zahlen oder die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen Größenwerte ein und derselben Quantität ermöglichen.

Wenn man mir sagt, daß zwei Längen durch die Zahlen 5 und 10 gemessen seien, ohne mir irgend eine andere Angabe zu machen, so gibt man mir in bezug auf diese Längen gewisse Aufschlüsse, ich weiß, daß die zweite länger ist, als die erste; ich weiß sogar, daß sie deren doppelten Wert besitzt. Diese Aufschlüsse sind aber dennoch sehr unvollständig; sie ermöglichen mir nicht, eine dieser Längen zu reproduzieren, sogar nicht zu wissen, ob sie groß oder klein seien.

Diese Angaben werden vollständig, wenn man sich nicht begnügt, mir die Zahlen 5 und 10, die diese zwei Längen messen, anzugeben, sondern mir sagt, daß diese Längen in Metern gemessen seien und man mir die Meter-Normaleinheit oder eine ihrer Kopien vorweist; ich werde dann, wenn ich will, diese beiden Längen reproduzieren können.

Ebenso geben die Zahlen, die die Größen der gleichen Art messen, uns nur dann vollständig diese Größen an, wenn wir die konkrete Kenntnis der Maßeinheit besitzen.

Einige Mathematiker standen im Examen; man sagt mir, daß sie die Noten 5, 10 und 15 verdient haben; das liefert mir eine gewisse Angabe über sie, die mir zum Beispiel ermöglichen wird, sie in ihrem Verhältnis zueinander zu klassifizieren. Aber diese Angabe ist unvollständig; sie ermöglicht mir nicht, mir eine Vorstellung des Talentes eines jeden von ihnen zu bilden, ich kenne den absoluten Wert der Noten, die ihnen gegeben wurden, nicht; mir fehlt die Kenntnis der Skale, auf die diese Noten bezogen sind.

Ebenso erfahre ich, wenn man mir bloß sagt, daß die Temperaturen verschiedener Körper durch die Zahlen 10, 20 und 100 dargestellt seien, nur daß der erste Körper weniger warm als der zweite und dieser weniger warm als der dritte sei. Aber ist der erste warm oder kalt? Bringt er das Eis zum Schmelzen oder nicht? Wird mich der letzte verbrennen? Wird er bewirken, daß ein Ei hart wird? Das weiß ich nicht,

solange man mir nicht die Thermometer-Skale, auf die diese Temperaturen 10, 20, 100 bezogen sind, angibt, das heißt ein Verfahren, welches mir ermöglicht, in konkreter Weise die Wärmeintensitäten, welche durch die Zahlen 10, 20, 100 bezeichnet sind, zu realisieren. Wenn man mir ein graduiertes Glasgefäß gibt, das Quecksilber enthält und mir sagt, daß die Temperatur einer Wassermasse allemal gleich 10 oder 20 oder 100 genommen werden muß, wenn man in sie das Thermometer eintaucht und sieht, daß das Quecksilber bis zum zehnten oder zwanzigsten resp. hundertsten Teilstrich steigt, so wird meine Ungewißheit vollständig verschwunden sein. Jedesmal, wenn der numerische Wert einer Temperatur mir angegeben wird, werde ich, wenn ich will, tatsächlich eine Wassermasse realisieren können, die diese Temperatur hat, wenn ich ein Thermometer besitze, auf dem sie ablesbar ist.

Ebenso, wie eine Größe nicht einfach durch eine abstrakte Zahl, sondern nur durch eine Zahl in Verbindung mit einer Maßeinheit definiert ist, ebenso ist die Intensität einer Qualität nicht vollkommen durch ein numerisches Symbol dargestellt; mit diesem Symbol muß zugleich ein konkretes Verfahren angegeben werden, das geeignet ist, die Skale der Intensitäten herzustellen. Nur die Kenntnis dieser Skale ermöglicht es, daß wir den algebraischen Lehrsätzen, die wir in bezug auf die Zahlen, die die verschiedenen Intensitäten der studierten Qualität darstellen, aussprechen, einen physikalischen Sinn geben.

Natürlich beruht die Skale, die zur Kennzeichnung der verschiedenen Intensitäten einer Qualität dient, auf einer quantitativen Wirkung, die diese Qualität zur Ursache hat; man wählt eine derartige Wirkung so, daß deren Größe wächst, während die Qualität, die sie verursacht, intensiver wird. So erfährt das Quecksilber in dem Glasgefäß, daß vom warmen Körper umgeben ist, eine sichtbare Ausdehnung; diese Ausdehnung ist um so größer, je wärmer der Körper ist; dies ist eine quantitative Wirkung, die ein Thermometer liefert, das ermöglicht, eine Skale von Temperaturen zur numerischen Bezeichnung der verschiedenen Wärmeintensitäten zu konstruieren.

Im Gebiet der Qualität kann der Begriff der Addition nicht

auftreten; er findet sich dagegen wieder, wenn man die quantitative Wirkung, die eine Skale zur Kennzeichnung der verschiedenen Intensitäten einer Qualität liefert, studiert. Man könnte nicht verschiedene Wärmeintensitäten aneinanderfügen; aber die sichtbaren Ausdehnungen einer Flüssigkeit in einem festen Gefäß können aneinandergefügt werden; man kann die Summe verschiedener Zahlen, die verschiedene Temperaturen darstellen, bilden.

So ermöglicht es die Wahl einer Skale, daß das Studium der verschiedenen Intensitäten einer Qualität mit der Betrachtung der Zahlen, die den Regeln der algebraischen Rechnung unterworfen sind, vertauscht werde. Die Vorteile, die die alten Physiker erwarteten, indem sie eine hypothetische Quantität an Stelle der qualitativen Eigenschaft, die die Sinne ihnen anzeigten, setzten und indem sie die Größe dieser Quantität maßen, kann man sehr oft erlangen, ohne sich auf eine solche angenommene Quantität zu berufen, indem man einfach eine geeignete Skale wählt.

Die elektrische Ladung wird uns dafür ein Beispiel liefern.

Das, was durch das Experiment an sehr kleinen elektrisierten Körpern zu allererst sichtbar wird, ist etwas qualitatives; bald merkt man jedoch, daß diese Qualität, die Elektrisierung nicht einfach sei; sie ist zweier einander entgegengesetzter Formen fähig, die sich gegenseitig zerstören, sie kann harzelektrisch oder glaselektrisch sein.

Außer dem Unterschied, daß die Elektrisierung eines kleinen Körpers sich wie die des Harzes oder wie die des Glases verhält, kann sie auch noch mehr oder minder stark sein; sie ist verschiedener Intensitäten fähig.

Alle Schöpfer der Elektrizitätslehre wie Franklin, Oepinus, Coulomb, Laplace, Poisson dachten, daß die Qualitäten bei der Bildung einer physikalischen Theorie nicht als zulässig betrachtet werden dürften, daß nur die Quantitäten in ihr Bürgerrecht hätten. Daher suchte ihr Verstand unter dieser Qualität der Elektrisierung, die ihre Sinne ihnen anzeigten, eine Quantität, die Elektrizitätsmenge. Um zum Verständnis dieser Quantität zu gelangen, dachten sie, daß jede der beiden Elektrisierungen an die Gegenwart eines gewissen elektrischen Fluidums im

Innern des elektrisierten Körpers gebunden sei. Ein Körper wies eine um so intensivere Elektrisierung auf, je größer die Masse des elektrischen Fluidums, die er enthielt, war. Die Größe dieser Masse ergab dann die Elektrizitätsmenge.

Die Betrachtung dieser Quantität spielte in der Theorie eine wesentliche Rolle, die aus folgenden zwei Gesetzen hervorging:

Die algebraische Summe der Elektrizitätsmengen, die sich auf einer Gruppe von Körpern befinden, eine Summe, bei der die Glaselektrizitätsmengen mit dem Zeichen + und die Harzelektrizitätsmengen mit dem Zeichen — belegt werden, ändert sich nicht, solange diese Gruppe nicht mit irgend einem anderen Körper in Verbindung kommt.

In einer bestimmten Distanz stoßen sich zwei elektrisierte Körper mit einer Kraft ab, die proportional dem Produkt der sich auf ihnen befindlichen Elektrizitätsmengen ist.

Nun gut! Wir können diese beiden Ausdrücke vollständig beibehalten, ohne uns auf hypothetische und wenig wahrscheinliche Fluida zu berufen, ohne die Elektrisierung ihres qualitativen Charakters, den unsere unmittelbaren Beobachtungen ihr zuschreiben, zu berauben; es genügt uns eine geeignete Skale zu wählen, auf die wir die Intensitäten der elektrischen Qualität beziehen.

Nehmen wir einen kleinen glaselektrischen Körper, der stets ungeändert bleiben soll, in einer ein für allemal gewählten Distanz und lassen wir auf ihn jeden der kleinen Körper, deren Elektrisierung wir studieren wollen, wirken; jeder von ihnen wird auf den ersten eine Kraft ausüben, deren Größe wir messen können und die wir mit dem Zeichen + wenn sie abstoßend, mit dem Zeichen — im entgegengesetzten Fall belegen wollen; jeder glaselektrische Körper wird somit auf den ersten eine positive Kraft ausüben, die um so größer sein wird, je intensiver seine Elektrisierung ist; jeder harzelektrische Körper wird eine negative Kraft ausüben, deren absoluter Wert im Maße, wie die Elektrisierung stärker wird, wächst.

Diese Kraft, ein quantitatives Element, das der Messung und Addition zugänglich ist, wählen wir für die elektrometrische Skale, die uns die verschiedenen positiven Zahlen zur Dar-

stellung der verschiedenen Intensitäten der Glaselektrizität, die verschiedenen negativen Zahlen zur Darstellung der verschiedenen Stufen der Harzelektrizität liefert. Diese Zahlen, die Angaben, die uns durch die elektrometrischen Methoden geliefert werden, kann man, wenn man will, als Elektrizitätsmengen bezeichnen. Die beiden wesentlichen Ausdrücke, die die Lehre von den elektrischen Fluiden formulierte, erhalten nun wieder einen Sinn und werden richtig.

Dieses Beispiel scheint uns unter allen am geeignetsten, folgende Wahrheit festzulegen: Es ist unnötig, um aus der Physik, wie dies Descartes wollte, eine universelle Arithmetik zu machen, dem großen Philosophen zu folgen und jede Qualität zu verwerfen, denn die Sprache der Algebra ermöglicht ebensogut die Behandlung der verschiedenen Intensitäten einer Qualität, wie die der verschiedenen Größen einer Quantität.

Sechstes Kapitel.

Die primären Qualitäten.

§ 1. — Über die übermäßige Vermehrung der primären Qualitäten.

Aus der Mitte der physikalischen Welt, die uns die Erfahrung kennen lehrt, lösen wir jene Eigenschaften los, die, wie wir glauben, als primäre betrachtet werden müssen. Diese Eigenschaften versuchen wir nicht zu erklären, noch auf andere verborgenere zurückzuführen. Wir akzeptieren sie so, wie unsere Beobachtungsmittel sie uns kennen lehren, ob sie sich uns nun in der Form von Quantitäten darbieten, oder ob sie das Aussehen von Qualitäten aufweisen. Wir werden sie als irreduzierbare Begriffe betrachten, als die Elemente selbst, die unsere Theorien zusammensetzen sollen. Aber diesen qualitativen oder quantitativen Eigenschaften werden wir mathematische Symbole entsprechen lassen, die uns gestatten werden, bei ihrer Behandlung die Sprache der Algebra zu benützen.

Wird diese Methode nicht zu jenem Mißbrauch führen, den die Urheber der wissenschaftlichen Renaissance so schroff

der scholastischen Physik vorgeworfen und die sie so streng und endgültig gerichtet haben?

Ohne Zweifel konnten die Gelehrten, denen wir die moderne Physik verdanken, den scholastischen Philosophen ihren Widerwillen gegen die Diskussion der Naturgesetze in mathematischer Sprache nicht verzeihen: „Wenn wir irgend etwas wissen" rief Gassendi[1]), „wissen wir es aus der Mathematik; aber um das wahre und gerechtfertigte Wissen der Dinge kümmern sich diese Leute nicht! Sie klammern sich nur an Lappalien!"

Dies ist aber nicht die Beschwerde, die die Reformatoren der Physik am häufigsten und lebhaftesten gegen die Vertreter der Scholastik erheben. Sie klagen sie an, daß sie jedesmal, wenn ihr Blick auf eine neue Erscheinung fällt, eine neue Qualität entdecken, daß sie jeder Wirkung, die sie weder studiert noch analysiert haben, eine besondere Eigenschaft zuschreiben, daß sie sich einbilden in Fällen eine Erklärung gegeben zu haben, wo sie nur einen Namen gesetzt und so die Wissenschaft in einen anspruchsvollen und leeren Jargon verwandelt haben.

„Diese Art des Philosophierens" sagte Galilei[2]), „scheint mir jedoch eine große Analogie zu haben mit einer Art von Malerei, die einem meiner Freunde eigen war; er schrieb nämlich mit Gyps auf die Leinwand: Hier soll eine Quelle mit Diana und ihren Nymphen sein, dort ein Paar Windhunde, in der Ecke ein Jäger mit einem Hirschgeweih, das übrige Feld, Wald und Hügel; alles andere überließ er dem Maler, mit Farben auszuführen. So redete er sich ein, selber die Geschichte von Aktäon gemalt zu haben, während er von sich aus nichts, als die Namen dazu hergegeben hatte." Und Leibniz[3]) verglich die in der Physik von den Philosophen befolgte Methode, die bei jeder Gelegenheit neue Formen und neue Qualitäten einführten, mit der „die sich begnüge zu sagen, daß eine Uhr eine stunden-

[1]) Gassendi: Exercitationes paradoxicae adversus Aristotelicos. Exercitatio I.

[2]) Galilei: Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo. Giornata terza. [Deutsche Übersetzung von E. Strauß, Leipzig 1891, p. 429.]

[3]) Leibniz: Oeuvres, édition Gerhardt t. IV, p. 434.

zeigende Qualität besitze, die aus ihrer Form hervorgehe, ohne zu betrachten, worin das alles bestehe."

Die geistige Faulheit, die es bequem findet, sich mit Worten bezahlt zu machen, die geistige Unredlichkeit, die darin einen Vorteil findet, auch andere damit zu bezahlen, sind unter den Menschen weitverbreitete Laster. Sicherlich waren die scholastischen Physiker, die so schnell dabei waren der Form eines jeden Körpers alle Kräfte zu verleihen, die ihre vagen und zufälligen Systeme erforderten, häufig und stark von ihm angekränkelt. Aber die Philosophie, die die qualitativen Eigenschaften zuläßt, besitzt nicht das traurige Monopol dieser Fehler. Man findet sie eben so gut bei den Sektierern jener Schulen, die ihren Stolz dreinsetzen, alles auf die Quantität zu reduzieren.

Gassendi zum Beispiel ist ein überzeugter Atomist; für ihn ist jede sinnliche Qualität nur eine Erscheinung; es gibt in der Wirklichkeit nur Atome, deren Gruppierungen und Bewegungen. Was antwortet er uns, wenn wir von ihm verlangen, daß er gemäß seinen Prinzipien die wesentlichen physikalischen Qualitäten erkläre, wenn wir ihm die Frage stellen: was ist der Geschmack? was ist der Geruch? was ist der Ton? was ist das Licht?

„In dem Ding selbst[1]), das wir wohlschmeckend nennen, scheint der Geschmack in keiner anderen Sache zu bestehen, als in Partikeln von solcher Gestalt, daß sie, wenn sie in die Zunge oder in den Gaumen eindringen, an den Geweben dieses Organes haften bleiben und sie derart in Bewegung bringen, daß sie die Empfindung erregen, die wir Geschmack nennen."

„In Wirklichkeit scheint der Geruch in nichts anderem als bestimmten Partikeln von solcher Gestalt zu bestehen, daß, wenn sie ausdünsten und in die Nasenlöcher eindringen, sie den Geweben dieser Organe in der Art entsprechen, daß sie die Empfindung, die wir Riechen oder Geruch nennen, hervorbringen."

„Der Ton scheint in nichts anderem, als in gewissen Partikeln zu bestehen, die in gewisser Art angeordnet sich sehr

[1]) P. Gassendi: Syntagma philosophicum, l. V, cc. IX, X et XI.

schnell vom tönenden Körper weit entfernen, in das Ohr eindringen und die Empfindung hervorrufen, die Hören genannt wird."

„Das Licht scheint in den leuchtenden Körpern in nichts anderem als sehr feinen Partikeln zu bestehen, die in gewisser Art geformt sind und vom leuchtenden Körper mit einer ungeheueren Geschwindigkeit ausgestoßen werden, die in das Sehorgan eindringen und geeignet sind, es in Bewegung zu setzen und so die Empfindung, die Sehen genannt wird, hervorzurufen."

Er war ein Peripathetiker, jener doctus bachelierus, der auf die Frage:

Demandabo causam et rationem quare
Opium facit dormire?

antwortete:

Quia est in eo
Virtus dormitiva
Cujus est natura
Sensus assoupire.

Wenn dieser Baccalaureus Aristoteles verleugnet und ein Atomist geworden wäre, hätte ihn Molière ohne Zweifel den philosophischen Zusammenkünften, die bei Gassendi abgehalten wurden und die der große Satiriker besuchte, beigezogen.

Die Cartesianer hätten übrigens Unrecht, allzulaut über die Lächerlichkeiten, denen sie gleichzeitig die Atomisten und Peripathetiker verfallen sehen, zu triumphieren. Es war einer von ihnen, an den Pascal dachte, als er schrieb[1]): „Es gibt Leute, die sich bis zu der Absurdität versteigen, ein Wort durch das Wort selbst zu erklären. Ich kenne solche, welche das Licht folgendermaßen definiert haben: Das Licht ist eine Leuchtbewegung der leuchtenden Körper[2]). Als ob das Wort leuchtend uns mehr sagen würde, als das Wort Licht. Diese Anspielung war gegen den Pater Noël, der ehemals Lehrer von Descartes am Collège in La Flèche und bald einer seiner eifrigsten Schüler geworden war, gerichtet. Derselbe hatte in

[1]) Pascal: De l'esprit géométrique.

[2]) Franz. Wortlaut: La lumière est un mouvement luminaire des corps lumineux.

einem Brief über das Leere, der an Pascal gerichtet war, folgenden Satz geschrieben: „Das Licht oder vielmehr die Beleuchtung ist eine Leuchtbewegung der Strahlen, die aus leuchtenden Körperchen zusammengesetzt sind, die die durchsichtigen Körper erfüllen und lichtartige Bewegung nur von anderen leuchtenden Körpern erhalten können."

Wenn man das Licht einer Leuchtkraft, leuchtenden Partikeln oder einer Leuchtbewegung zuschreibt, ist man Peripathetiker, Atomist oder Cartesianer. Wenn man aber damit prahlt, auf diese Weise irgend etwas unseren Kenntnissen über das Licht hinzugefügt zu haben, ist man kein vernünftiger Mensch mehr. In allen Schulen treten falsche Denker auf, die sich einbilden, eine Flasche mit einer kostbaren Flüssigkeit zu füllen, während sie ihr nur eine pompöse Etikette aufkleben. Alle physikalischen Lehren, die vernünftig interpretiert werden, stimmen in der Verurteilung dieser Einbildung überein. Unsere Bemühungen werden somit dahingehen müssen, sie zu vermeiden.

§ 2. — Eine primäre Qualität ist eine in der Tat, aber nicht von Rechts wegen irreduzierbare Qualität.

Übrigens bewirken unsere Prinzipien selbst, daß wir vor der Verschrobenheit auf der Hut sind, den Körpern so viele oder nahezu so viele Qualitäten zuzuschreiben, als es Wirkungen zu erklären gibt. Wir setzen uns die Aufgabe, von einer Gruppe physikalischer Gesetze eine möglichst einfache, möglichst zusammenfassende Darstellung zu geben; unser Ehrgeiz ist es, die vollständigste Ökonomie des Denkens, die wir erlangen können, zu erreichen. Es ist daher klar, daß wir bei der Aufstellung unserer Theorie die kleinste Zahl von Begriffen, die als primäre, von Qualitäten, die als einfache betrachtet werden, verwenden müssen. Wir werden die Methode der Analyse und der Reduktion, die die zusammengesetzten Eigenschaften, die die Sinne ohne weiteres erfassen, sondern und sie auf eine kleine Zahl elementarer Eigenschaften bringt, auf die Spitze treiben müssen.

Woran werden wir erkennen, daß unsere Zerlegung ihr Ziel erreicht hat, daß die Qualitäten, zu denen unsere Analyse

führte, nicht ihrerseits wieder in einfache Qualitäten aufgelöst werden können?

Die Physiker, die erklärende Theorien aufzubauen suchten, leiteten aus philosophischen Vorschriften, denen sie sich unterwarfen, Probiersteine und Reagentien ab, die geeignet waren zu zeigen, ob die Analyse einer Eigenschaft bis zu den Elementen vorgedrungen war. So wußte zum Beispiel ein Atomist, daß seine Aufgabe nicht erledigt sei, solange er eine physikalische Wirkung nicht auf Größe, Gestalt und Gruppierung der Atome und die Gesetze des Stoßes zurückgeführt hatte; solange ein Cartesianer in einer Qualität ein anderes Ding als „die Ausdehnung und ihre bloße Änderung" fand, war er sicher, daß er nicht zur wirklichen Natur vorgedrungen sei.

Woher werden wir, die wir nicht die Eigenschaften der Körper zu erklären suchen, sondern nur eine algebraische, kondensierte Darstellung derselben geben wollen, die wir uns bei der Aufstellung unserer Theorien auf kein metaphysisches Prinzip berufen, sondern aus der Physik eine autonome Wissenschaft machen wollen, woher werden wir ein Kriterium nehmen, das es uns ermöglicht, eine gewisse Qualität als wirklich einfach und irreduzierbar, eine gewisse andere als zusammengesetzt und gründlicherer Trennung bedürftig zu bezeichnen?

Wenn wir eine Eigenschaft als primäre und elementare betrachten, so wollen wir damit keineswegs behaupten, daß diese Qualität von Natur aus einfach und unzerlegbar sei; wir stellen bloß eine tatsächliche Wahrheit fest, wir erklären, daß alle unsere Anstrengungen, um die Qualität auf andere zu reduzieren, gescheitert seien, daß es uns unmöglich war, sie zu zerlegen.

Stets wird daher ein Physiker, wenn er eine Gruppe bis dahin nicht beobachteter Erscheinungen feststellt, wenn er eine Gruppe von Gesetzen, die eine neue Eigenschaft aufzuweisen scheinen, entdeckt, vor allem suchen, ob diese Eigenschaft nicht eine früher nicht vermutete Kombination bereits bekannter und akzeptierter Qualitäten in den als zulässig erkannten Theorien sei. Nur wenn seine tausendfach variierten Anstrengungen gescheitert sind, wird er sich entschließen, diese Eigenschaft als eine neue,

primäre zu betrachten und in seine Theorien ein neues mathematisches Symbol einführen.

„Immer, wenn man eine außerordentliche Tatsache entdeckt," schreibt H. Sainte-Claire Deville[1]), indem er die Unschlüssigkeit in seinen Überlegungen beschreibt, als er die ersten Erscheinungen der Dissoziation wahrnahm, „ist es die erste Arbeit, ich möchte beinahe sagen die erste Pflicht, die dem Manne der Wissenschaft obliegt, alle Mühe aufzuwenden, um sie in die gewöhnliche Regel durch eine Erklärung einzuordnen, eine Operation, die oft mehr Arbeit und Überlegung erfordert, als die Entdeckung selbst. Wenn man Erfolg hat, empfindet man eine lebhafte Genugtuung, indem man sozusagen das Gebiet eines physikalischen Gesetzes erweitert, indem man die Einfachheit und die Gültigkeit einer großen Klassifikation erhöht . . ."

„Wenn aber gegenüber einer außerordentlichen Tatsache jede Erklärung oder wenigstens alle Anstrengungen, die man gewissenhaft macht, um sie den gewöhnlichen Gesetzen zu unterwerfen, versagen, muß man andere derartige Tatsachen suchen, die ihr analog sind. Wenn man diese dann gefunden hat, muß man sie provisorisch mit Hilfe der Theorie, die man ausgebildet hat, klassifizieren."

Als Ampère die mechanischen Wirkungen, die zwischen zwei elektrisierten Drähten, deren jeder zwei Pole einer Säule verbindet, entdeckte, kannte man bereits seit langem die anziehenden und abstoßenden Wirkungen, die zwischen elektrisierten Konduktoren bestehen. Die Qualität, die diese Anziehungen und Abstoßungen kennzeichnen, war analysiert und durch ein angenähertes mathematisches Symbol, die positive oder negative Ladung eines jeden materiellen Teilchens dargestellt worden. Die Verwendung dieses Symboles führte Poisson zur Aufstellung einer mathematischen Theorie die in glücklichster Weise die von Coulomb festgestellten Experimente zur Darstellung brachte.

[1]) H. Sainte-Claire Deville: Recherches sur la décomposition des corps par la chaleur et la dissociation. (Bibliothèque Universelle, Archives, nouvelle période, t. IX, p. 59; 1860.)

Konnte man nicht die neu entdeckten Gesetze auf diese Eigenschaft, deren Einführung in die Physik bereits eine vollendete Tatsache gewesen, zurückführen? Konnte man nicht die Anziehungen und Abstoßungen zwischen zwei Drähten, von denen jeder ein Element schließt, durch die Annahme erklären, daß bestimmte elektrische Ladungen so an der Oberfläche dieser Drähte oder in deren Innerem verteilt sind, daß diese Ladungen sich umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung anziehen oder abstoßen, wie es der fundamentalen Hypothese, auf der die Theorie von Coulomb und Poisson ruht, entspricht? Die Aufwerfung dieser Frage, die Prüfung derselben durch die Physiker war wohlberechtigt. Wenn einer von ihnen sie in bejahendem Sinne hätte beantworten können, wenn er die Gesetze der durch Ampère beobachteten Erscheinungen auf die von Coulomb aufgestellten Gesetze der Elektrostatik hätte zurückführen können, wäre die Theorie der Elektrizität vor der Betrachtung jeder anderen Qualität als der der elektrischen Ladung bewahrt worden.

Gleich von Anfang an war man mannigfach bemüht, die Gesetze der Kräfte, die Ampère aufgezeigt hatte, auf elektrostatische Wirkungen zurückzuführen. Faraday machte diesen Bemühungen rasch ein Ende, indem er zeigte, daß diese Kräfte kontinuierliche Rotationsbewegungen erzeugen können. In der Tat begriff Ampère, sobald er von dem durch den großen englischen Physiker entdeckten Phänomen Kenntnis erhielt, dessen ganze Tragweite. Dieses Phänomen, sagte er[1]), „beweist, daß die Wirkung, die zwischen galvanischen Leitern besteht, nicht von einer besonderen Verteilung gewisser auf diesen Konduktoren in Ruhe befindlicher Fluida herrühren kann, wie dies bei den gewöhnlichen elektrischen Abstoßungen und Anziehungen der Fall ist". — „In der Tat[2]) folgt gemäß dem Prinzip der

[1]) Ampère: Exposé sommaire des nouvelles expériences électrodynamiques, lu à l'Académie le 8 avril 1822. (Journal de Physique, t. XCIV, p. 65.)

[2]) Ampère: Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience. Paris 1826. — Édition Hermann, Paris 1883, p. 96.

Erhaltung der lebendigen Kräfte, das eine notwendige Folge der eigentlichen Bewegungsgesetze ist, mit Notwendigkeit, daß, — wenn die elementaren Kräfte, die in unserem Falle Anziehungen und Abstoßungen auf Grund des umgekehrten Verhältnisses der Quadrate der Entfernungen sind, durch einfache Funktionen der gegenseitigen Abstände der Punkte, zwischen denen sie wirken, ausgedrückt werden und wenn ein Teil dieser Punkte unveränderlich miteinander verbunden, sich nur auf Grund dieser Kräfte bewegt, ein anderer derselben festbleibt — die ersten in die gleiche Lage in bezug auf die letzteren, nur mit einer größeren Geschwindigkeit kommen können, als die ist, die sie besaßen, als sie den ursprünglichen Ort verließen. Es kommen nun bei einer kontinuierlichen Bewegung, die einem beweglichen Leiter durch die Wirkung eines festen erteilt wird, alle Punkte des ersteren mit Geschwindigkeiten, die bei jeder Umdrehung wachsen, in die gleiche Lage zurück. Das geht so lange fort, bis die Reibungen und der Widerstand des angesäuerten Wassers, in das die Spitze des Leiters taucht, der Steigerung der Rotationsgeschwindigkeit desselben eine Grenze setzen. Sie wird dann konstant, ungeachtet dieser Reibungen und dieses Widerstandes."

„Es ist daher vollständig bewiesen, daß man von den Erscheinungen, die von der Wirkung zweier galvanischer Leiter herrühren, nicht durch die Annahme, daß elektrische Moleküle, die umgekehrt dem Quadrat der Entfernung wirken, auf den leitenden Drähten verteilt seien, Rechenschaft geben kann."

Notwendigerweise muß man den verschiedenen Teilen eines galvanischen Leiters eine Eigenschaft zuschreiben, die nicht auf die Elektrisierung zurückführbar ist. Man muß an ihm eine neue primäre Qualität erkennen, deren Existenz Ausdruck gegeben wird, wenn man sagt, der Draht ist von einem Strom durchflossen. Dieser elektrische Strom scheint an eine gewisse Richtung gebunden, mit einem gewissen Sinn versehen zu sein; er äußert sich mehr oder weniger intensiv. Dieser mehr oder minder starken Intensität des elektrischen Stromes kann durch die Wahl einer Skala Ausdruck gegeben werden, die es ermöglicht, ihm eine mehr oder minder große Zahl ent-

sprechen zu lassen, eine Zahl, für die man den Namen elektrische Stromintensität beibehält. Diese elektrische Stromintensität, die das mathematische Symbol einer primären Qualität ist, ermöglichte es Ampère, jene Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen zu entwickeln, die die Franzosen davor bewahrt, die Engländer um den Ruhm Newtons beneiden zu müssen.

Der Physiker, der einer metaphysischen Lehre die Prinzipien entlehnt, nach denen er seine Theorien entwickeln will, erhält von dieser Lehre auch die Merkmale, nach denen er erkennen kann, ob eine Qualität einfach oder zusammengesetzt ist. Diese beiden Worte haben für ihn einen absoluten Sinn. Der Physiker, der seine Theorien selbständig und unabhängig von jedem philosophischen System zu machen sucht, schreibt den Worten: Einfache Qualität, primäre Eigenschaft einen vollständig relativen Sinn zu. Sie bezeichnen für ihn einfach eine Eigenschaft, deren Zerlegung in andere Qualitäten ihm unmöglich war.

Der Sinn, den die Chemiker der Bezeichnung einfacher Körper zuschreiben, hat eine analoge Umwandlung erfahren.

Für einen Peripathetiker verdienten nur die vier Elemente: das Feuer, die Luft, das Wasser, die Erde den Namen einfacher Körper; jeder andere Körper war zusammengesetzt; solange man ihn nicht so weit zerlegt hatte, daß man zur Trennung der vier Elemente, aus denen er zusammengesetzt sein konnte, gelangt war, hatte die Analyse ihr Ziel nicht erreicht. Ebenso wußte ein Alchymist, daß die Wissenschaft der Zerlegungen die Perfektionierungskunst das letzte Ziel ihrer Operationen nicht erreicht habe, solange sie nicht das Salz, den Schwefel, das Quecksilber und den Erdrückstand, aus deren Vereinigung sich alle Verbindungen zusammensetzen, getrennt hatte. Der Alchymist und der Peripathetiker behaupteten, einer wie der andere, die Merkmale, die den wahrhaft einfachen Körper charakterisieren, in absolut sicherer Weise zu kennen.

Die Schule von Lavoisier lehrte die Chemiker[1]) einen voll-

[1]) Der Leser, der die Phasen, die der Begriff des einfachen Körpers durchgemacht hat, kennen lernen will, kann unsere Schrift: Le Mixte et la Combinaison chimique. Essai sur l'évolution d'une idée, Paris 1902. IIe partie c. 1 zu Rate ziehen.

ständig anderen Begriff des einfachen Körpers kennen. Der einfache Körper ist nicht mehr der Körper, den eine gewisse philosophische Doktrin für unzerlegbar erklärt, sondern derjenige, den wir nicht zerlegen konnten, der allen Hilfsmitteln der Analyse, die in den Laboratorien angewendet werden, Widerstand leistete.

Wenn der Alchymist und der Peripathetiker das Wort Element aussprachen, behaupteten sie stolz, die eigentliche Natur der Stoffe, die zum Aufbau der Körper des Universums gedient, zu kennen. Im Munde des modernen Chemikers ist dasselbe Wort ein Ausdruck der Bescheidenheit, ein Bekenntnis der Ohnmacht. Er sagt, daß ein Körper gegen alle Versuche, die unternommen wurden, ihn zu zerlegen, siegreichen Widerstand geleistet habe.

Diese Bescheidenheit wurde der Chemie mit einer außerordentlichen Fruchtbarkeit vergolten. Ist die Hoffnung unberechtigt, daß eine ähnliche Bescheidenheit auch der theoretischen Physik gleiche Vorteile bringen würde?

§ 3. — Eine primäre Qualität ist stets nur in provisorischem Sinne primär.

„Wir können daher nicht behaupten," sagt Lavoisier[1]), „daß das, was wir heute als einfach ansehen, es in Wirklichkeit sei: Alles, was wir sagen können, ist, daß diese Substanz gegenwärtig den Endpunkt bildet, bis zu dem die chemische Analyse vorgedrungen ist und daß sie bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse nicht mehr weiter geteilt werden kann. Es ist anzunehmen, daß man die Erden bald nicht mehr unter die einfachen Substanzen rechnen wird . . ."

In der Tat machte Humphry Davy im Jahre 1807 die Weissagung Lavoisiers zu einer bewiesenen Wahrheit. Er zeigte, daß das Ätzkali und Ätznatron die Oxyde zweier Metalle seien, die er Kalium und Natrium nannte. Seit dieser Zeit wurde eine Menge von Körpern, die lange Zeit jedem Versuch der Analyse Widerstand geleistet hatten, aus der Reihe der Elemente ausgeschaltet.

[1]) Lavoisier: Traité élémentaire de Chimie. Troisième édition t. 1. p. 194.

Die Bezeichnung Element, die gewisse Körper führen, ist eine ganz provisorische. Sie besteht nur so lange, als nicht eine scharfsinnigere oder wirksamere analytische Methode gefunden ist, wie die zurzeit gebräuchliche, eine Methode, nach der sich vielleicht der Stoff, den wir als einfach betrachten, in mehrere verschiedene Körper zerlegen läßt.

Nicht weniger provisorisch ist die Bezeichnung primäre Qualität. Die Qualität, deren Zurückführung auf eine andere physikalische Eigenschaft uns heute unmöglich erscheint, wird ihre Unabhängigkeit vielleicht morgen verloren haben. Der Fortschritt der Physik wird uns vielleicht morgen in ihr eine Kombination von Eigenschaften erkennen lassen, die als scheinbar ganz verschiedene Wirkungen uns bereits seit langem bekannt waren.

Das Studium der Lichterscheinungen führt uns dazu, das Licht als primäre Qualität zu betrachten. Dieser Qualität ist eine gewisse Richtung eigen; ihre Intensität, weit entfernt konstant zu sein, ändert sich periodisch mit ungeheurer Geschwindigkeit, indem sie mehrere hundert Trillionen mal in der Sekunde wieder die gleiche Größe erhält; eine Linie, deren Länge periodisch mit dieser außerordentlichen Frequenz variiert, liefert ein geometrisches Symbol, das geeignet ist, das Licht darzustellen; dieses Symbol, die Lichtwelle, dient dazu, diese Qualität mit Hilfe mathematischer Überlegungen zu behandeln. Die Lichtwelle ist das wesentliche Element, mit dessen Hilfe die Theorie des Lichtes aufgebaut wird. Ihre Komponenten dienen dazu, einige partielle Differentialgleichungen aufzustellen, einige Grenzbedingungen, in denen sich alle Gesetze der Lichtfortpflanzung, der partiellen und totalen Reflexion, der Brechung und Beugung in wunderbarer Ordnung und Kürze kondensiert und klassifiziert, finden.

Andererseits hat die Analyse der Erscheinungen, die in Gegenwart elektrisierter Körper an isolierenden Substanzen wie dem Schwefel, dem Ebonit, dem Paraffin auftreten, die Physiker dazu geführt, diesen dielektrischen Körpern eine bestimmte Eigenschaft zuzuschreiben. Nachdem sie vergeblich versucht hatten, diese Eigenschaft auf die elektrische Ladung zurückzuführen, mußten sie sich entschließen, sie als primäre Qualität

unter dem Namen dielektrische Polarisation zu behandeln. In jedem Punkt der isolierenden Substanz und in jedem Augenblick hat dieselbe nicht nur eine bestimmte Intensität, sondern auch eine bestimmte Richtung und einen bestimmten Sinn, in der Art, daß eine gerade Strecke das mathematische Symbol darstellt, das gestattet, in der Sprache der Geometrie von der dielektrischen Polarisation zu sprechen.

Durch eine kühne Ausdehnung der von Ampère formulierten Elektrodynamik erhielt Maxwell eine Theorie des veränderlichen Zustandes der Dielektrika. Diese Theorie kondensiert und ordnet die Gesetze aller Erscheinungen, die in isolierenden Substanzen auftreten, in denen die dielektrische Polarisation sich von einem Augenblick zum andern ändert. Alle diese Gesetze werden in einer kleinen Zahl von Gleichungen zusammengefaßt, von denen gewisse in jedem Punkt des isolierenden Körpers, die übrigen in jedem Punkt der Grenzfläche zweier verschiedener Dielektrika erfüllt sein müssen.

Die Gleichungen, welche die Lichtwellen beherrschen, wurden aufgestellt, wie wenn die dielektrische Polarisation nicht bestehen würde; die Gleichungen, durch die die dielektrische Polarisation bestimmt ist, wurden auf Grund einer Theorie entdeckt, in der das Wort Licht nicht einmal ausgesprochen wird.

Zwischen diesen Gleichungen zeigte sich nun eine merkwürdige Übereinstimmung.

Eine dielektrische Polarisation, die periodisch variiert, muß Gleichungen erfüllen, die alle den Gleichungen ähnlich sind, denen die Lichtschwingung unterliegt.

Diese Gleichungen haben nicht nur dieselbe Form, sondern die Koeffizienten, die in ihnen auftreten, haben auch denselben numerischen Wert. So pflanzt sich die elektrische Polarisation im leeren Raum oder in der Luft, in denen anfangs keinerlei elektrische Wirkung bestand, mit einer gewissen Geschwindigkeit fort, wenn ein gewisses Gebiet polarisiert wurde. Die Maxwellschen Gleichungen ermöglichen es, diese Geschwindigkeit nach rein elektrischen Methoden, wobei von der Optik keinerlei Gebrauch gemacht wird, zu bestimmen. Zahlreiche

übereinstimmende Messungen lehren uns den Wert dieser Geschwindigkeit zu 300000 km in der Sekunde kennen. Diese Zahl ist genau so groß wie die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft oder im leeren Raum, die durch vier voneinander verschiedene rein optische Methoden bestimmt wurde.

Aus dieser unerwarteten Übereinstimmung ergibt sich der Schluß: das Licht ist keine primäre Qualität, die Lichtwelle ist nichts anderes als eine periodisch veränderliche, dielektrische Polarisation. Die elektromagnetische Lichttheorie, die Maxwell geschaffen, hat eine Eigenschaft, die man für irreduzierbar hielt, aufgelöst, sie ließ sie zu einer Qualität werden, mit der sie während langer Jahre keinerlei Band zu verbinden schien.

So können die Fortschritte der Theorien selbst zur Reduktion der Zahl der Qualitäten, die sie ursprünglich als primäre betrachtet hatten, führen. Sie können beweisen, daß zwei Eigenschaften, die für verschieden gehalten wurden, nur zwei verschiedene Seiten derselben Eigenschaft sind.

Soll man daraus schließen, daß die Zahl der in unseren Theorien zugelassenen Qualitäten von Tag zu Tag kleiner werde, daß die Materie, von der unsere Spekulationen handeln, immer weniger reich an Attributen, die ihr Wesen bilden, werde, daß sie zu einer Einfachheit tendiere, die mit der der atomistischen Materie oder der cartesianischen Materie vergleichbar wäre? Das wäre, glaube ich, ein verwegener Schluß. Die Entwicklung der Theorie selbst kann ohne Zweifel hin und wieder einmal zwei verschiedene Qualitäten zusammenfließen lassen, ähnlich wie das Zusammenfließen des Lichtes und der dielektrischen Polarisation, die elektromagnetische Lichttheorie hervorgebracht hat. Aber anderseits bringt der unaufhörliche Fortschritt der experimentellen Physik häufig die Entdeckung neuer Kategorien von Erscheinungen mit sich, so daß es notwendig wird, um diese Erscheinungen zu klassifizieren und aus ihnen Gesetze aufzubauen, der Materie neue Eigenschaften zuzuerkennen.

Welche von diesen beiden entgegengesetzten Bewegungen, deren eine die Materie zu vereinfachen sucht, indem sie die Qualitäten aufeinander reduziert, deren andere durch Entdeckung neuer Eigenschaften sie verwickelter gestaltet, wird den Sieg

davontragen? Es wäre unklug, in dieser Hinsicht eine Prophezeiung auf lange Sicht auszusprechen. Zumindest scheint es sicher, daß in unserer Epoche der zweite Strom viel mächtiger sei als der erste, indem er unsere Theorien zu einer immer verwickelteren Auffassung der Materie, die immer reicher an Attributen wird, führt.

Übrigens zeigt sich die Analogie zwischen den primären Qualitäten der Physik und den einfachen Körpern der Chemie auch hier. Vielleicht wird einst der Tag kommen, wo wirksame Mittel der Analyse die zahlreichen Körper, die wir heute einfache nennen, in eine kleine Zahl von Elementen auflösen werden; aber kein sicheres, noch wahrscheinliches Zeichen erlaubt uns die Morgenröte dieses Tages zu verkünden. In der Epoche, in der wir leben, schreitet die Chemie vor, indem sie ohne Unterlaß neue einfache Körper entdeckt. Seit einem halben Jahrhundert liefern die seltenen Erden ohne Unterlaß neue Beiträge zu der bereits so langen Liste der Metalle. Das Gallium, das Germanium, das Skandium zeigen uns, wie stolz die Chemiker sind, in diese Liste den Namen ihres Vaterlandes eintragen zu können. In der Luft, die wir einatmen, die seit Lavoisier als eine Mischung von Stickstoff und Sauerstoff bekannt zu sein schien, findet sich eine ganze Familie neuer Gase, das Argon, das Helium, das Xenon, das Krypton. Endlich liefert das Studium der neuen Strahlungen, das die Physik sicher nötigen wird, den Kreis ihrer primären Qualitäten zu erweitern, der Chemie früher unbekannte Körper, das Radium und vielleicht auch das Polonium und Aktinium. Sicher sind wir jetzt von den einfachen Körpern, von denen Descartes träumte, diesen Körpern, die sich „auf die Ausdehnung und deren bloße Änderung" zurückführen lassen, noch recht weit entfernt. Die Chemie stellt eine Sammlung von einem Hundert körperlicher Materien auf, die aufeinander nicht zurückführbar sind, und einer jeden dieser Materien verleiht die Physik Formen, die in einer Menge verschiedener Qualitäten bestehen können. Jede der beiden Wissenschaften bemüht sich soweit als irgend möglich die Zahl ihrer Elemente zu reduzieren, und dennoch sieht sie in dem Maße, wie sie fortschreitet, deren Zahl wachsen.

Siebentes Kapitel.

Mathematische Deduktion und physikalische Theorie.

§ 1. — Physikalische Annäherung und mathematische Präzision.

Wenn man eine physikalische Theorie aufstellen will, hat man vor allem unter den Eigenschaften, die uns die Beobachtung darbietet, diejenigen auszuwählen, die man als primäre Qualitäten betrachten wird und sie durch algebraische oder geometrische Symbole darzustellen.

Ist diese erste Operation, deren Studium wir die zwei vorangehenden Kapitel gewidmet haben, beendet, so muß man an eine zweite gehen: Man muß zwischen den algebraischen oder geometrischen Symbolen, die die primären Eigenschaften darstellen, Beziehungen aufstellen; diese Beziehungen werden den Deduktionen, auf Grund deren sich die Theorie entwickelt, als Prinzipien dienen.

Es würde daher entsprechend erscheinen, nun diese zweite Operation, den Ausdruck der Hypothesen zu analysieren. Bevor man aber den Plan der Fundamente, die ein Gebäude tragen, zeichnet, bevor man die Materialien wählt, aus denen man es bauen wird, ist es unbedingt notwendig, zu wissen, welcher Art das Gebäude sein soll, den Druck, den es auf seine Grundlagen ausüben wird, zu kennen. Erst am Ende unserer Studien werden wir daher die Bedingungen präzisieren können, auf die wir bei der Wahl der Hypothesen achten müssen.

Wir gehen daher sogleich zur Prüfung der dritten Operation, durch die jede Theorie konstituiert wird, der mathematischen Entwickelung über.

Die mathematische Deduktion ist ein Zwischenglied. Sie hat das Ziel, uns zu lehren, wie auf Grund der fundamentalen Hypothesen der Theorie unter bestimmten Umständen bestimmte Konsequenzen entstehen, daß beim Auftreten bestimmter Tatsachen auch bestimmte andere Tatsachen auftreten werden. Sie zeigt uns zum Beispiel auf Grund der Hypothesen der Thermodynamik, daß ein einem bestimmten Druck ausgesetzter Eisblock schmelzen wird, wenn das Thermometer einen bestimmten Grad anzeigt.

Führt die mathematische Deduktion die Tatsachen, die wir die Bedingungen nennen in der konkreten Form, in der wir sie beobachten, in ihre Rechnungen direkt ein? Leitet sie die Tatsache, die wir als Konsequenz bezeichnen in der konkreten Form, in der wir sie konstatieren werden, ab? Sicherlich nicht. Ein Kompressionsapparat, ein Eisblock, ein Thermometer sind Dinge, mit denen der Physiker in seinem Laboratorium manipuliert, sie sind nicht Elemente, auf die die algebraische Rechnung angewendet werden kann. Die algebraische Rechnung kombiniert nur Zahlen miteinander. Damit daher der Mathematiker in seinen Formeln die konkreten Bedingungen eines Experimentes einführen könne, müssen diese Bedingungen durch das Zwischenglied der Maße in Zahlen umgesetzt worden sein, daß er zum Beispiel die Worte: ein solcher Druck durch eine bestimmte Zahl von Atmosphären, die er in seiner Gleichung an Stelle des Buchstaben P einsetzt, ersetzen kann. Ebenso wird der Mathematiker am Ende seiner Rechnung eine bestimmte Zahl erhalten. Er muß auf die Maßmethoden Bezug nehmen, um dieser Zahl eine konkrete und beobachtbare Tatsache entsprechen zu lassen, zum Beispiel um einer gewissen Angabe des Thermometers den numerischen Wert, den er für den Buchstaben T, aus seiner algebraischen Gleichung erhält, entsprechen zu lassen.

So kann die mathematische Entwickelung einer Theorie, sowohl bei ihrem Ausgangspunkt, als auch bei ihrem Endpunkt nur durch eine Übersetzung mit den beobachtbaren Tatsachen verbunden werden. Um in die Rechnungen die Bedingungen eines Experimentes einzuführen, ist eine Übersetzung nötig, die die Sprache der konkreten Beobachtung durch die Sprache der Zahlen ersetzt. Um das Resultat, das die Theorie für ein gewisses Experiment voraussagt, konstatierbar zu machen, ist es nötig, die Aufgabe zu lösen, einen numerischen Wert in eine in der Sprache des Experimentes formulierte Angabe umzubilden. Die Maßmethoden sind, wie wir bereits gesagt haben, das Vokabularium, das diese beiden Übersetzungen ermöglicht.

Wer aber übersetzt, fälscht; traduttore, traditore; es gibt niemals eine vollständige Übereinstimmung zwischen den zwei Texten, die Übersetzungen voneinander sind. Der Unterschied

zwischen den konkreten Tatsachen, wie sie der Physiker beobachtet und den numerischen Symbolen, durch die diese Tatsachen in den Rechnungen des Theoretikers dargestellt werden, ist außerordentlich. Wir werden später Gelegenheit haben, diesen Unterschied zu analysieren und dessen Hauptmerkmale zu kennzeichnen. Augenblicklich erregt nur eines dieser Merkmale unsere Aufmerksamkeit.

Betrachten wir vor allem das, was wir als theoretische Tatsache bezeichnen wollen, d. h. jene Gruppe mathematischer Angaben, durch die eine konkrete Tatsache in den Überlegungen und Rechnungen des Theoretikers ersetzt wird. Nehmen wir zum Beispiel folgende Tatsache: „Die Temperatur ist in dieser Art auf diesem Körper verteilt."

Eine derartige theoretische Tatsache besitzt nichts Unbestimmtes, nichts Schwankendes, alles ist in genauer Weise festgelegt. Der Körper, der studiert wird, ist geometrisch definiert. Seine Kanten sind wirkliche Linien ohne Dicke, seine Ecken wirkliche Punkte ohne Dimensionen, die verschiedenen Längen und verschiedenen Winkel, die seine Gestalt bestimmen, sind genau bekannt. Jedem Punkt dieses Körpers entspricht eine Temperatur, und diese Temperatur ist für jeden Punkt eine Zahl, die von jeder anderen scharf geschieden ist.

Dieser theoretischen Tatsache stellen wir die praktische Tatsache, deren Übersetzung sie ist, gegenüber. Hier ist nichts mehr von der Präzision zu merken, die wir eben konstatiert haben. Der Körper ist kein geometrischer mehr, sondern ein konkreter Block. So scharf auch seine Kanten sein mögen, keine von ihnen ist mehr der geometrische Schnitt zweier Flächen, sondern ein mehr oder minder abgerundeter, mehr oder minder zackiger Grat. Seine Punkte sind mehr oder minder breitgedrückt und abgestumpft. Das Thermometer zeigt uns nicht mehr die Temperatur in jedem Punkte, sondern eine Art mittlerer Temperatur in einem gewissen Volumen an, dessen wirkliche Ausdehnung nicht ganz genau festgestellt werden kann. Wir können überdies nicht behaupten, daß diese Temperatur durch jene bestimmte Zahl mit Ausschluß jeder anderen Zahl dargestellt sei. Wir können zum

Beispiel nicht erklären, daß diese Temperatur streng, genau 10^0 sei, wir können nur behaupten, daß die Differenz zwischen dieser Temperatur und 10^0 einen gewissen Bruchteil des Grades, der von der Genauigkeit unserer thermometrischen Methoden abhängt, nicht überschreite.

Während also die Konturen des Bildes mit einer gewissen Schärfe gezogen sind, sind die Konturen des Objektes verschwommen, verdeckt und verwischt. Es ist unmöglich die praktische Tatsache zu beschreiben ohne durch den Ausdruck näherungsweise die allzugroße Bestimmtheit jedes Satzes abzuschwächen. Dagegen sind alle Elemente, die die theoretische Tatsache bilden, mit strenger Genauigkeit definiert.

Daraus ergibt sich folgende Konsequenz: Eine Unzahl verschiedener theoretischer Tatsachen können als Übersetzung derselben praktischen Tatsache dienen.

Wenn wir zum Beispiel eine theoretische Tatsache dahin ausdrücken, daß diese Linie eine Länge von 1 cm oder von 0,999 cm oder von 0,993 cm oder von 1,002 cm oder von 1,003 cm besitze, so drücken wir damit Sätze aus, die für den Mathematiker dem Wesen nach verschieden sind. Aber wir ändern dadurch nichts an der praktischen Tatsache, deren Übersetzung die theoretische Tatsache ist, wenn unsere Maßmethoden uns nicht gestatten, Längen zu bestimmen, die kleiner sind, als ein Zehntel Millimeter. Wenn wir sagen, daß die Temperatur eines Körpers 10^0 oder $9{,}99^0$ oder $10{,}01^0$ sei, so formulieren wir drei unvereinbare theoretische Tatsachen. Aber diese drei unvereinbaren theoretischen Tatsachen entsprechen ein und derselben praktischen Tatsache, wenn die Genauigkeit unseres Thermometers nicht ein fünfzigstel Grad erreicht.

Eine praktische Tatsache läßt sich daher nicht nur durch eine einzige theoretische Tatsache, sondern durch eine Art Bündel, das eine Unzahl verschiedener theoretischer Tatsachen umfaßt, übersetzen. Jedes dieser mathematischen Elemente, die gemeinsam eine dieser Tatsachen bilden, kann bei jeder Tatsache anders sein. Aber die Veränderung, die jedes dieser Elemente erfahren kann, kann eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Diese Grenze ist jene des Fehlers, dem das Maß

dieses Elementes ausgesetzt ist. Je mehr die Maßmethoden sich vervollkommnen, je mehr die Annäherung, die sie zulassen, wächst, desto enger wird diese Grenze. Aber sie verengt sich nie so weit, daß sie verschwindet.

§ 2. — Mathematische Deduktionen, die physikalisch verwendbar und solche, die physikalisch unverwendbar sind.

Diese Bemerkungen sind ganz einfach. Sie sind jedem Physiker so geläufig, daß sie beinahe banal erscheinen. Nichtsdestoweniger haben sie für die mathematische Entwicklung einer physikalischen Theorie einschneidende Konsequenzen.

Wenn die numerischen Angaben einer Rechnung in präziser Weise festgestellt sind, lehrt diese Rechnung, so kompliziert sie auch sein mag, stets den genauen numerischen Wert des Resultates kennen. Wenn man den Wert der Angaben ändert, ändert man im allgemeinen auch den Wert des Resultates. Wenn man demgemäß die Bedingungen eines Experimentes durch eine theoretische Tatsache genau definiert hat, wird die mathematische Entwicklung durch eine andere, theoretisch genau definierte Tatsache das Resultat, das dieses Experiment liefern soll, darstellen. Wenn man die theoretische Tatsache, die die Bedingungen des Experimentes ausdrückt, ändert, wird die theoretische Tatsache, die das Resultat ausdrückt, sich auch ändern. — Wenn wir zum Beispiel in der aus den thermodynamischen Hypothesen abgeleiteten Formel, die die Abhängigkeit des Schmelzpunktes des Eises vom Drucke zeigt, den Buchstaben P, der den Druck darstellt, durch eine gewisse Zahl ersetzen, werden wir auch die Zahl kennen, die man dem Buchstaben T, dem Symbol der Schmelztemperatur substituieren muß. Wenn wir den numerischen Wert des Druckes ändern, ändern wir gleichzeitig auch den numerischen Wert des Schmelzpunktes.

Man kann nun, wie wir im § 1 gesehen, wenn die Bedingungen eines Experimentes in konkreter Weise gegeben sind, sie nicht durch eine unzweideutige theoretische Tatsache

übersetzen. Man muß ihnen ein Bündel von zahllosen theoretischen Tatsachen entsprechen lassen. Daher sagen die Rechnungen des Theoretikers das Resultat eines Experimentes nicht in der Form einer einzigen theoretischen Tatsache voraus, sondern in der Form unzähliger theoretischer Tatsachen.

Um zum Beispiel die Bedingungen unseres Versuches über die Eisschmelzung auszudrücken, können wir nicht für das Symbol P des Druckes einen einzigen numerischen Wert — zum Beispiel 10 Atmosphären — setzen. Wenn die Fehlergrenze unseres Manometers ein Zehntel Atmosphäre ist, müssen wir annehmen, daß P alle Werte zwischen 9,95 und 10,05 Atmosphären annehmen kann. Natürlich wird jedem dieser Werte des Druckes durch unsere Formel ein verschiedener Wert des Eisschmelzpunktes zugeordnet werden.

So lassen sich die Bedingungen eines Experimentes, die in konkreter Weise gegeben sind, durch ein Bündel theoretischer Tatsachen übersetzen. Diesem ersteren Bündel theoretischer Tatsachen läßt die mathematische Entwicklung der Theorie ein zweites entsprechen, das bestimmt ist, das Resultat des Experimentes darzustellen.

Diese letzteren theoretischen Tatsachen können wir nicht in der Form, in der wir sie erhalten, verwenden. Wir müssen sie übersetzen und in die Form praktischer Tatsachen bringen, denn nur dann werden wir wirklich das Resultat, das die Theorie für unser Experiment angibt, kennen. Wir dürfen uns zum Beispiel nicht damit begnügen, solange wir aus unserer thermodynamischen Formel nicht verschiedene numerische Werte für den Buchstaben T abgeleitet haben. Wir werden suchen müssen, welchen wirklich beobachtbaren Angaben, die auf der graduierten Skala unseres Thermometers ablesbar sind, diese Angaben wirklich entsprechen.

Welche Aufgabe haben wir nun eigentlich, wenn wir diese neue Übersetzung, die derjenigen entgegengesetzt ist, die wir eben ausgeführt, die die theoretischen in praktische Tatsachen umwandeln soll, ausführen?

Es kann sein, daß das Bündel von zahllosen theoretischen Tatsachen, durch das die mathematische Deduktion das Resultat

unseres Experimentes ausdrückt, uns nach der Übersetzung nicht verschiedene praktische Tatsachen, sondern nur eine einzige liefert. Es kann zum Beispiel geschehen, daß zwei numerische Werte, die für den Buchstaben T gefunden wurden, nicht um mehr als ein hundertstel Grad differieren, und daß das hundertstel Grad auch die Grenze der Empfindlichkeit unseres Thermometers sei. In dieser Art entsprechen alle verschiedenen theoretischen Werte von T praktisch ein und derselben Ablesung auf der Skala des Thermometers.

In einem derartigen Falle wird die mathematische Deduktion ihr Ziel erreicht haben. Es wird uns möglich sein, auf Grund der Hypothesen, auf denen die Theorie ruht, zu behaupten, daß dieses Experiment, das unter diesen praktisch gegebenen Bedingungen ausgeführt wurde, das konkrete und beobachtbare Resultat liefern muß. Die mathematische Deduktion ermöglicht so den Vergleich zwischen den Konsequenzen der Theorie und den Tatsachen.

Aber es ist nicht immer so. Auf Grund der mathematischen Deduktion ergeben sich eine Unzahl theoretischer Tatsachen als mögliche Konsequenzen unseres Experimentes. Bei der Übersetzung dieser theoretischen Tatsachen in die konkrete Sprache kann es geschehen, daß wir nicht nur eine einzige praktische Tatsache erhalten, sondern mehrere, die sich auf Grund der Empfindlichkeit unserer Instrumente voneinander unterscheiden lassen. Es kann zum Beispiel vorkommen, daß die verschiedenen numerischen Werte, die durch unsere thermodynamische Formel für den Eisschmelzpunkt gegeben werden, einen Unterschied voneinander aufweisen, der ein Zehntel oder selbst einen ganzen Grad erreicht, während uns unser Thermometer die Bestimmung eines hundertstel Grades ermöglicht. In diesem Falle wird die mathematische Deduktion ihren Nutzen verloren haben. Die Bedingungen eines praktisch gegebenen Experimentes können uns nicht mehr in praktisch bestimmter Weise das zu beobachtende Resultat anzeigen.

Eine mathematische Deduktion, die aus den Hypothesen, auf denen die Theorie ruht, hervorgeht, kann daher nützlich oder überflüssig sein, je nachdem, ob aus den praktisch ge-

gebenen Bedingungen eines Experimentes eine praktisch bestimmte Aussage über das Experiment abgeleitet werden kann oder nicht.

Diese Bestimmung der Nützlichkeit einer mathematischen Deduktion ist nicht immer absolut. Sie hängt vom Grade der Empfindlichkeit der Apparate, die zur Beobachtung des Versuchsergebnisses dienen sollen, ab. Nehmen wir zum Beispiel an, daß unsere thermodynamische Formel einem praktisch gegebenen Druck ein Bündel von Eisschmelzpunkten entsprechen lasse. Zwischen zweien dieser Schmelzpunkte bestehe ein Unterschied, der manchmal ein hundertstel des Grades übersteigt, aber niemals ein Zehntel Grad erreicht. Die mathematische Deduktion, die diese Formel liefert, wird von dem Physiker, dessen Thermometer nur Zehntelgrade festzustellen erlaubt, für nützlich, von dem Physiker, dessen Instrument noch sicher einen Temperaturunterschied von einem hundertstel Grad zu unterscheiden gestattet, für unbrauchbar gehalten werden. Man sieht daraus, wie sehr das Urteil über den Nutzen einer mathematischen Entwicklung von einer Epoche zur anderen, von einem Laboratorium zum anderen, von einem Physiker zum anderen gemäß der Geschicklichkeit der Konstrukteure, gemäß der Vervollkommnung der Werkzeuge, gemäß der Anwendung, die man von den Versuchsergebnissen machen will, sich ändern kann.

Diese Bestimmung kann auch von der Empfindlichkeit der Meßmethoden, die dazu dienen, die praktisch gegebenen Bedingungen des Experimentes in Zahlen zu übersetzen, abhängen.

Nehmen wir wieder die verwendete Formel der Thermodynamik, die uns bisher immer als Beispiel diente. Wir seien im Besitze eines Thermometers, das die Bestimmung einer Temperaturdifferenz bis auf ein hundertstel Grad mit Sicherheit gestatte. Damit unsere Formel uns ohne praktische Zweideutigkeit den Schmelzpunkt des Eises unter einem gegebenen Druck anzeige, ist es notwendig und zureichend, daß sie uns bis auf ein hundertstel Grad genau den numerischen Wert für den Buchstaben T kennen lehre.

Wenn wir nun ein grobes Manometer anwenden, das

zwei Drucke nur unterscheiden läßt, wenn ihre Differenz über zehn Atmosphären beträgt, kann es geschehen, daß ein praktisch gegebener Druck in der Formel Schmelzpunkten entspricht, die um mehr als ein hundertstel Grad voneinander abweichen. Wenn wir dagegen den Druck mit einem empfindlichen Manometer bestimmen würden, das sicher zwei Drucke, die um eine Atmosphäre differieren, unterscheiden läßt, würde die Formel dem gegebenen Druck einen Schmelzpunkt entsprechen lassen, der mit einer größeren Annäherung als ein hundertstel Grad bestimmbar wäre. Die Formel, die beim Gebrauch des ersten Manometers unverwendbar wäre, würde sich beim Gebrauch des zweiten als verwendbar erweisen.

§ 3. — Beispiel einer mathematischen Deduktion, die niemals verwendbar werden kann.

In dem Falle, den wir als Beispiel genommen haben, erhöhten wir die Genauigkeit der Meßmethoden, die dazu dienten, die praktisch gegebenen Bedingungen des Experimentes in theoretische Tatsachen zu übersetzen. Dadurch haben wir mehr und mehr das Bündel theoretischer Tatsachen, die diese Übersetzung einer einzigen praktischen Tatsache entsprechen läßt, verkleinert. Dadurch wurde gleichzeitig auch das Bündel theoretischer Tatsachen, durch das unsere mathematische Deduktion das für das Experiment angekündigte Resultat darstellt, verkleinert. Es wurde so klein gemacht, daß unsere Meßmethoden ihm nur eine einzige praktische Tatsache entsprechen ließen. In diesem Moment war unsere mathematische Deduktion verwendbar geworden.

Es scheint, daß das immer so sein muß. Wenn man eine einzige theoretische Tatsache als gegeben annimmt, läßt die mathematische Deduktion ihr wieder eine einzige theoretische Tatsache entsprechen. Daher wird man naturgemäß zu folgendem Schluß geführt: Das Bündel theoretischer Tatsachen, das man als Resultat erhält, läßt sich auf Grund der mathematischen Deduktion so dünn wie man wünscht gestalten, wenn man das Bündel theoretischer Tatsachen, das das gegebene versinnbildlicht, genügend verkleinert.

Wenn diese Meinung richtig wäre, könnte eine mathematische Deduktion, die aus den Hypothesen, auf denen eine physikalische Theorie ruht, abgeleitet wurde, stets nur in relativer und provisorischer Weise unverwendbar sein. Wie subtil auch immer die Methoden zur Messung der Resultate eines Versuches sein mögen, so könnte man doch immer, indem man die Hilfsmittel, durch die man die Bedingungen dieses Experimentes in Zahlen übersetzt, genügend präzise und genau macht, sie in der Art herstellen, daß aus den praktisch bestimmten Bedingungen unsere Deduktion nur ein einziges praktisches Resultat ableitet. Eine Deduktion, die heute unbrauchbar ist, würde an dem Tage, an dem man die Empfindlichkeit der Instrumente, die zur Bestimmung der Versuchsbedingungen dienen, erheblich steigert, nützlich werden.

Der moderne Mathematiker hütet sich sehr vor diesen augenscheinlichen Übereinstimmungen, die nur zu oft trügen. Diejenige, die wir anführen wollen, soll nur als Exempel dienen. Man kann Fälle anführen, in denen diese Übereinstimmung in augenscheinlichem Widerspruch mit der Wahrheit steht. Eine derartige Deduktion läßt einer einzigen, als gegeben angenommenen theoretischen Tatsache eine einzige als Resultat bezeichnete theoretische Tatsache entsprechen. Wenn ein Bündel theoretischer Tatsachen gegeben ist, so besteht das Resultat in einem anderen Bündel theoretischer Tatsachen. Aber läßt man auch das erste Bündel unbegrenzt kleiner werden, macht man es so dünn als möglich, so kann man doch nicht die Ausdehnung des zweiten Bündels um so viel vermindern, als man gerade will. Wenn auch das erste Bündel unbegrenzt klein ist, so können doch die Fäden, die das zweite Bündel bilden, divergieren und sich voneinander trennen, ohne daß man ihren gegenseitigen Abstand unter eine gewisse Grenze herabdrücken könnte. Eine derartige mathematische Deduktion ist für den Physiker unbrauchbar und wird es immer bleiben. Wie präzis und genau die Instrumente auch immer sein mögen, durch die die Versuchsbedingungen in Zahlen übersetzt werden, stets wird diese Deduktion praktisch bestimmten experimentellen Bedingungen eine Unzahl praktisch verschiedener Resultate entsprechen

lassen. Durch sie wird eine Voraussage des Geschehens unter gegebenen Bedingungen nicht möglich sein.

Ein sehr treffendes Beispiel einer solchen für immer unbrauchbaren Deduktion liefern uns die Untersuchungen des Herrn J. Hadamard. Es ist einem der einfachsten Probleme, die die am wenigsten verwickelte unter den physikalischen Theorien, die Mechanik zu behandeln hat, entnommen.

Eine materielle Masse gleitet auf einer Fläche. Weder die Schwere, noch sonst eine Kraft beeinflußt sie. Auch die Reibung stört nicht ihre Bewegung. Wenn die Fläche, auf der sie bleiben muß, eine Ebene ist, beschreibt sie eine gerade Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Wenn die Fläche eine Kugel ist, beschreibt sie einen Bogen auf einem größten Kreis und zwar auch mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Wenn unser materieller Punkt sich auf einer beliebigen Fläche bewegt, beschreibt er eine Linie, die die Geometer als geodätische Linie der betrachteten Fläche bezeichnen. Wenn die Anfangslage unseres materiellen Punktes und die Richtung der Anfangsgeschwindigkeit gegeben sind, ist die geodätische Linie vollständig bestimmt.

Die Untersuchungen des Herrn Hadamard[1]) handelten im speziellen von den geodätischen Linien auf mehrfach zusammenhängenden Flächen entgegengesetzter Krümmung, die unendliche Kegelmantel darstellen. Wir wollen uns hier nicht damit aufhalten, solche Flächen geometrisch zu definieren, wir begnügen uns von ihnen ein Beispiel zu geben.

Denken wir uns die Stirn eines Stieres mit den Erhöhungen, von denen die Hörner und Ohren ausgehen. Verlängern wir diese Hörner und Ohren in der Art, daß sie sich ins Unendliche ausdehnen, so haben wir eine Fläche, wie wir sie studieren wollen.

Auf einer solchen Fläche können die geodätischen Linien recht verschieden aussehen.

---

[1]) J. Hadamard: Les surfaces à courbures opposées et leurs lignes géodésiques. (Journal de Mathématiques pures et appliquées, 5e série, t. IV, p. 27; 1898.)

Es gibt vor allem geodätische Linien, die in sich selbst zurückkehren. Weiter gibt es solche, die niemals genau zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren, sich aber auch niemals unendlich weit von ihm entfernen. Die einen winden sich unaufhörlich um das rechte Horn, die anderen um das linke oder auch um das rechte resp. linke Ohr. Wieder andere, die viel komplizierter sind, beschreiben Windungen, die sie nach bestimmten Regeln um eines der Hörner ausführen, abwechselnd mit solchen um das andere Horn, oder eines der Ohren. Endlich gibt es auf der Stirn unseres Stieres mit unbegrenzten Hörnern und Ohren geodätische Linien, die sich ins Unendliche erstrecken, wobei die einen das rechte Horn, die anderen das linke, wieder andere entsprechend das rechte oder linke Ohr erklimmen.

Trotz dieser Komplikation wird die geodätische Linie, die ein materieller Punkt bei seiner Bewegung beschreibt, ohne Zweideutigkeit bestimmt sein, wenn man mit voller Genauigkeit die Anfangslage desselben auf der Stirne des Stieres und die Richtung der Anfangsgeschwindigkeit kennt. Man kann vor allem speziell sehr genau wissen, ob der bewegliche Punkt stets in endlicher Entfernung bleiben muß oder sich auf Nimmerwiedersehen in die Unendlichkeit entfernt.

Ganz anders würde es stehen, wenn die Anfangsbedingungen nicht mathematisch sondern praktisch gegeben wären. Die Anfangslage unseres materiellen Punktes wäre nicht auf der Fläche bestimmt, sondern es wäre irgend ein Punkt innerhalb eines kleinen Fleckens. Die Richtung der Anfangsgeschwindigkeit wäre nicht mehr eine unzweideutig definierte Gerade, sondern eine der Geraden, die in dem engen Bündel enthalten sind, dessen Begrenzung die Kontur des kleinen Flecken bildet. Unseren praktisch gegebenen Anfangsbedingungen wird für den Geometer eine unbegrenzte Menge verschiedener Anfangsbedingungen entsprechen.

Stellen wir uns vor, daß gewisse dieser geometrischen Angaben einer geodätischen Linie entsprechen, die sich nicht ins Unendliche entfernt, die sich zum Beispiel stets um das rechte Horn dreht. Die Geometrie ermöglicht uns nun fol-

gende Behauptung aufzustellen: Unter den unzähligen mathematischen Angaben, die denselben praktisch gegebenen entsprechen, gibt es solche, die eine geodätische Linie bestimmen, die sich unendlich weit vom Anfangspunkte entfernt; nachdem sie eine gewisse Zahl von Umdrehungen um das rechte Horn vollendet, wird sich diese geodätische Linie entweder über das rechte Horn oder das linke oder das rechte oder auch linke Ohr ins Unendliche entfernen. Ja noch mehr! Trotz der engen Grenzen, die die geometrischen Angaben, die unsere praktischen Angaben darstellen sollen, haben, kann man immer diese geometrischen Angaben in der Art nehmen, daß die geodätische Linie sich von dem unendlichen Kegelmantel, den man vorher gewählt, entfernt.

Man kann die Genauigkeit, mit der die praktischen Angaben bestimmt sind, beliebig erhöhen, man kann den Flecken, der die Anfangslage des materiellen Punktes bildet, verkleinern, man kann das Bündel, das die Richtung der Anfangsgeschwindigkeit enthält, zusammenschnüren, man wird doch niemals die geodätische Linie, die sich ohne Unterlaß um das rechte Horn dreht, von ihren ungetreuen Kameraden befreien, die, nachdem sie sich zuerst, ebenso wie erstere, um dasselbe Horn gewunden, ins Unendliche entfernen. Die einzige Wirkung dieser größeren Genauigkeit in der Feststellung der ursprünglichen Angaben kann darin bestehen, daß man diese geodätischen Linien zwingt, eine größere Zahl von Windungen um das rechte Horn auszuführen, bevor sie zu ihrem unendlichen Zweig gelangen. Aber dieser unendliche Zweig kann niemals beseitigt werden. Wenn daher ein materieller Punkt auf der studierten Fläche von einer gegebenen mathematischen Lage aus mit einer mathematisch gegebenen Geschwindigkeit bewegt wird, kann die mathematische Deduktion die Bahn dieses Punktes bestimmen, und sagen, ob diese Bahn sich ins Unendliche entferne oder nicht. Wenn aber die Angaben nicht mathematisch bekannt sind, sondern durch physikalische Methoden bestimmt wurden, die beliebig genau sein mögen, wird die gestellte Frage unbeantwortbar sein und auch stets unbeantwortbar bleiben.

§ 4. — Die Annäherungsmathematik.

Das Beispiel, das wir analysiert haben, wurde uns wie gesagt, in einem der einfachsten Probleme, die die Mechanik, das ist die am wenigsten verwickelte unter den physikalischen Theorien, zu behandeln hat, geliefert. Diese außerordentliche Einfachheit ermöglichte es Herrn Hadamard im Studium des Problemes genügend weit vorzudringen, um die absolute, unausbleibliche Unverwendbarkeit gewisser mathematischer Deduktionen für die Physik bloßzulegen. Wird ein solcher trügerischer Schluß nicht noch in einer Menge anderer Probleme, die zu kompliziert sind, als daß man deren Lösung genügend analysieren könnte, auftreten? Die Antwort auf diese Frage scheint kaum zweifelhaft. Die Fortschritte der mathematischen Wissenschaften zeigen uns ohne Zweifel eine Menge von Problemen, die für den Mathematiker sehr wohl definiert sind, für den Physiker aber allen Sinn verlieren.

Wir wollen hier eines[1]), und zwar ein sehr berühmtes anführen, dessen Verwandtschaft mit dem von Herrn Hadamard behandelten augenfällig ist.

Beim Studium der Bewegungen der Gestirne, die das Sonnensystem bilden, ersetzen die Mathematiker die Sonne, die großen und kleinen Planeten sowie die Monde durch materielle Punkte. Sie nehmen an, daß je zwei dieser Punkte sich proportional dem Produkt ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung, die sie trennt, anziehen. Das Studium der Bewegungen eines derartigen Systems ist ein viel verwickelteres als das von dem wir auf den vorangehenden Seiten gesprochen haben. Es ist in der Wissenschaft unter dem Namen Problem der n Körper berühmt. Wenn sogar die Zahl der Körper, die gegenseitig in Wirkung treten, auf drei reduziert wird, bleibt noch immer ein von den Mathematikern gefürchtetes Rätsel, das Dreikörperproblem, bestehen.

Nichtsdestoweniger kann man, wenn man in einem gegebenen Augenblick mit mathematischer Genauigkeit die Lage und Geschwindigkeit jedes der Gestirne, die das System bilden,

[1]) J. Hadamard: Loc. cit. p. 71.

kennt, behaupten, daß jedes Gestirn von diesem Augenblick an eine vollständig definierte Bahn beschreibt. Die wirkliche Bestimmung dieser Bahn kann den Bemühungen der Mathematiker Hindernisse in den Weg legen, die noch lange nicht behoben sind. Dennoch kann man annehmen, daß ein Tag kommen werde, an dem diese Hindernisse beseitigt werden.

Demzufolge kann sich der Mathematiker folgende Frage stellen: Werden die Gestirne des Sonnensystems unter der Annahme, daß die Lagen und Geschwindigkeiten derselben die gleichen seien wie heute, alle weiter und unaufhörlich sich um die Sonne drehen? Wird es nicht im Gegenteil geschehen, daß eines dieser Gestirne sich von dem Schwarm seiner Gefährten trennt, um sich in der Unendlichkeit zu verlieren? Diese Frage bildet das Problem der Stabilität des Sonnensystems, das Laplace gelöst zu haben glaubte, dessen außerordentliche Schwierigkeit aber die Bemühungen der modernen Mathematiker, vor allem die des Herrn Poincaré dartun.

Für den Mathematiker hat das Problem der Stabilität des Sonnensystems sicherlich einen Sinn, denn die Anfangslagen der Gestirne und ihre Anfangsgeschwindigkeiten sind für ihn Elemente, die mit mathematischer Genauigkeit bekannt sind. Für den Astronomen sind diese Elemente aber nur auf Grund physikalischer Verfahren bekannt. Diese Verfahren bringen Fehler mit sich, die die an den Instrumenten und an den Beobachtungsmethoden angebrachten Verbesserungen mehr und mehr reduzieren, niemals aber ganz aufheben werden. Es könnte daher sein, daß das Problem der Stabilität des Sonnensystems für den Astronomen eine Frage ohne jeden Sinn wäre. Die praktischen Angaben, die er dem Mathematiker liefert, bedeuten für diesen eine Unzahl einander benachbarter, aber dennoch verschiedener theoretischer Angaben. Vielleicht sind unter diesen Angaben solche, nach denen alle Sterne ewig in endlicher Distanz bleiben, während andere irgend einen dieser Himmelskörper in die Unendlichkeit verweisen. Wenn ein solcher Umstand, dem analog, der sich in dem von Hrn. Hadamard behandelten Problem zeigte, hier wieder aufträte, wäre jede mathematische Deduktion in bezug auf die Stabi-

lität des Sonnensystems für den Physiker eine für immer unverwendbare.

Man kann die vielen und schwierigen Deduktionen der Mechanik des Himmels und der mathematischen Physik nicht durchsehen ohne in Furcht zu geraten, daß viele dieser Deduktionen zu ewiger Unfruchtbarkeit verdammt seien.

In der Tat nützt eine mathematische Deduktion dem Physiker nichts, solange er sich auf die Behauptung beschränkt, daß wenn dieser Satz streng richtig ist, die strenge Richtigkeit jenes anderen Satzes folge. Damit sie dem Physiker nützlich sei, muß er auch beweisen, daß der zweite Satz annähernd richtig bleibe, wenn der erste nur annähernd wahr ist. Und das genügt auch noch nicht. Er muß den Umfang dieser beiden Annäherungen abgrenzen. Er muß die Fehlergrenzen des Resultates feststellen, die aus der Kenntnis des Grades der Genauigkeit der Methoden, die zur Messung der Angaben gedient haben, hervorgehen. Man muß den Grad der Unsicherheit, die man den Angaben zuschreiben muß, definieren, wenn man das Resultat mit bestimmter Annäherung kennen will.

So sind die strengen Bedingungen beschaffen, die man der mathematischen Deduktion auferlegen muß, wenn man will, daß diese Sprache mit absoluter Genauigkeit, ohne zu fälschen, die Sprache des Physikers übersetze. Denn die Ausdrücke dieser letzteren Sprache sind und werden immer unbestimmt und ungenau sein, wie die Wahrnehmungen, die sie ausdrücken sollen. Unter diesen Bedingungen und nur unter diesen wird man eine mathemathische Darstellung der Annäherung haben.

Aber man täusche sich nicht in dieser Beziehung. Diese Annäherungsmathematik ist nicht eine einfachere und gröbere Mathematik, sondern im Gegenteil eine vollständigere, verfeinerte Form derselben. Sie erfordert die Lösung von mitunter sehr schwierigen Problemen, deren manche sogar über die Methoden der gegenwärtigen Algebra hinausgehen.

Achtes Kapitel.

Das physikalische Experiment[1]).

§ 1. — Ein physikalisches Experiment ist nicht einfach die Beobachtung einer Erscheinung, es ist außerdem die theoretische Interpretation derselben.

Das Ziel jeder physikalischen Theorie ist die Darstellung experimenteller Gesetze. Die Worte Wahrheit, Sicherheit haben in bezug auf eine solche Theorie nur eine einzige Bedeutung; sie drücken die Übereinstimmung der Schlußfolgerungen der Theorie mit den Gesetzmäßigkeiten, die die Beobachter festgestellt haben, aus. Wir können daher in der Kritik der physikalischen Theorie nicht weiter kommen, bevor wir nicht genau die Natur der von den Experimentatoren ausgesprochenen Gesetze analysiert, bevor wir nicht den Grad der Sicherheit, der

[1]) Dieses Kapitel und die zwei folgenden sind der Analyse der experimentellen Methode, die der Physiker anwendet, gewidmet. Wir bitten den Leser um Erlaubnis, diesbezüglich einige Daten fixieren zu dürfen. Wie uns scheint haben wir diese Analyse zuerst durchgeführt und zwar in einem Artikel, dessen Titel: „Quelques réflexions au sujet de la Physique expérimentale" (Revue des Questions scientifiques, deuxième série t. III, 1894) lautete. Hr. G. Milhaud machte die Ausführungen eines Teiles dieser Gedanken zum Gegenstand seiner Vorlesungen im Jahre 1895/96. Er veröffentlichte darauf ein Resumé seiner Vorlesungen, in dem er uns zitierte, unter dem Titel: „La science rationelle" (Revue de Métaphysique et de Morale, 4e année 1896 p. 290. — Le Rationnel, Paris 1898.) Die gleiche Analyse machte sich auch Hr. Édouard Le Roy in dem zweiten Artikel seiner Schrift: „Science et Philosophie" (Revue de Métaphysique et de Morale, 7e année, 1899, p. 503) zu eigen und ebenso in einer anderen Schrift: „La science positive et les philosophies de la liberté." (Congrès international de Philosophie tenu à Paris en 1900. Bibliothèque du Congrès: I. Philosophie générale et Métaphysique p. 313). Ebenso kommt in dem Artikel: „La méthode des Sciences physiques" (Revue de Métaphysique et de Morale 7e année 1899, p. 579) des Hrn. E. Wilbois eine analoge Auffassung zur Geltung. Verschiedene der von uns zitierten Autoren haben manchmal aus dieser Analyse der in der Physik verwendeten experimentellen Methode Schlüsse gezogen, die über das Gebiet der Physik hinausgehen. Wir werden ihnen dahin nicht folgen und uns beständig in den Grenzen der physikalischen Wissenschaft halten.

ihnen zukommt, präzisiert haben. Außerdem ist das physikalische Gesetz nicht nur der Inbegriff einer Unzahl von Experimenten, die ausgeführt wurden oder realisiert werden könnten. Wir werden daher naturgemäß dahin geführt, uns folgende Frage zu stellen: Was ist eigentlich ein physikalisches Experiment?

Diese Frage wird ohne Zweifel manchen Leser in Erstaunen setzen. Ist es nötig sie zu stellen, ist die Antwort nicht selbstverständlich? Bezeichnet nicht jedermann mit den Worten: „Ausführung eines physikalischen Experimentes", eine Operation, die darin besteht, daß man eine physikalische Erscheinung unter den Bedingungen hervorbringt, die man genau und scharf mit Hilfe geeigneter Instrumente beobachten kann?

Treten Sie in dieses Laboratorium ein. Gehen Sie an diesen Tisch heran, den eine Menge von Apparaten bedecken: eine galvanische Säule, mit Seide umsponnene Kupferdrähte, mit Quecksilber gefüllte Näpfe, Spulen, ein Eisenstäbchen, das einen Spiegel trägt. Ein Beobachter steckt in kleine Löcher den metallischen Stiel eines Stöpsels, dessen Kopf aus Ebonit besteht. Das Eisen gerät in Schwingungen und vom Spiegel, der mit ihm verbunden ist, wird auf einen Maßstab aus Zelluloid ein leuchtender Streifen geworfen, dessen Bewegungen der Beobachter verfolgt. Das ist ohne Zweifel ein Experiment. Mit Hilfe des Hin- und Hergehens dieses leuchtenden Zeichens beobachtet der Physiker genau die Schwingungen des Eisenstückes. Wenn Sie nun fragen, was er tue, glauben Sie, daß er Ihnen dann antworten wird: „Ich studiere die Oszillationen des Eisenstabes, der den Spiegel trägt"? Keineswegs. Er wird Ihnen antworten, daß er den elektrischen Widerstand einer Spule messe. Wenn Sie in Erstaunen geraten und Ihn fragen, welchen Sinn diese Worte hätten und welche Beziehung zwischen ihnen und den Phänomenen, die er gleichzeitig mit Ihnen konstatiert hat, bestünde, würde er Ihnen antworten, daß Ihre Frage allzulanger Erklärungen bedürfe und Ihnen anraten, einen Kursus in der Elektrizitätslehre zu nehmen.

Es ist in der Tat ein physikalisches Experiment, dessen Ausführung Sie beiwohnten, und das wie jedes Experiment in der Physik in zwei Teile zerfällt. Es besteht in erster Linie in

der Beobachtung gewisser Tatsachen. Um diese Beobachtung ausführen zu können, genügen Aufmerksamkeit und aufnahmsfähige Sinne. Die Kenntnis der Physik ist dazu nicht nötig; der Direktor des Laboratoriums kann darin weniger geschickt sein, als der Laboratoriumsdiener. Sie besteht in zweiter Linie in der Interpretation der beobachteten Tatsachen. Um diese Interpretation durchführen zu können, genügen ein geübtes Auge und geweckte Aufmerksamkeit nicht. Man muß die einschlägigen Theorien kennen, man muß sie anzuwenden verstehen, man muß ein Physiker sein. Jedermann kann, wenn er gesunde Augen hat, die Bewegungen eines Lichtstreifens auf einem durchsichtigen Maßstab verfolgen, wie er nach rechts oder nach links geht, wie er an diesem oder jenem Punkt stillsteht; er braucht dazu kein großer Gelehrter zu sein. Wenn er aber die Elektrodynamik nicht kennt, wird er das Experiment nicht vollenden, wird er den Widerstand der Spule nicht messen können.

Nehmen wir ein anderes Beispiel. Regnault studiert die Kompressibilität der Gase. Er nimmt eine gewisse Quantität Gas und sperrt sie in ein Glasrohr ein. Er hält die Temperatur konstant, er mißt den Druck, unter dem das Gas steht und das Volumen, das es einnimmt. Das ist, wird man sagen, die genaue und scharfe Beobachtung gewisser Erscheinungen, gewisser Tatsachen. Sicherlich haben sich unter den Händen und Augen von Regnault, unter den Händen und Augen seiner Gehilfen konkrete Tatsachen vollzogen. Besteht das, was Regnault als Beitrag zum Fortschritt der Physik aufgezeichnet hat in der Beschreibung dieser Tatsachen? Nein. In einer Visiervorrichtung hat Regnault das Bild einer gewissen Quecksilberkuppe einen bestimmten Strich tangieren gesehen; hat er das in dem Bericht über seine Untersuchungen aufgeschrieben? Nein; er hat aufgezeichnet, daß das Gas ein Volumen von bestimmter Größe einnehme. Ein Gehilfe hat das Fernrohr eines Kathetometers gehoben und gesenkt, bis das Bild eines anderen Quecksilberniveaus einen bestimmten Faden eines Netzes tangierte. Er beobachtete sodann die Lage gewisser Striche auf dem Maßstabe und auf dem Nonius des Kathetometers; ist es das, was

wir in dem Bericht von Regnault finden? Nein; wir lesen dort, welche Größe der vom Gas ausgeübte Druck besitzt. Ein anderer Gehilfe hat am Thermometer gesehen, wie sich das Flüssigkeitsniveau von einem bestimmten Strich zu einem andern verschob; hat er das aufgezeichnet? Nein; man hat vermerkt, daß die Temperatur des Gases von einem bestimmten Grade bis zu einem anderen variierte.

Was ist nun die Größe des Volumens, das das Gas einnimmt, was ist die Größe des Druckes, den es ausübt, was ist der Grad der Temperatur, auf den es gebracht wird? Sind es drei konkrete Objekte? Nein; es sind drei abstrakte Symbole, die allein die physikalische Theorie mit den wirklich beobachteten Tatsachen verbinden.

Um die erste dieser Abstraktionen, die Größe des von dem Gase eingenommenen Volumens zu bilden und sie mit der beobachteten Tatsache in Übereinstimmung zu bringen, d. h. mit dem Tangieren des Quecksilbers an einem bestimmten Strich, war es nötig, die Glasröhre zu aichen, d. h. zu rekurrieren, nicht nur auf die abstrakten Begriffe der Arithmetik und der Geometrie, auf die abstrakten Prinzipien, auf denen diese Wissenschaften beruhen, sondern auch auf den abstrakten Begriff der Masse, auf die Hypothesen der allgemeinen Mechanik und der des Himmels, die den Gebrauch der Wage zur Vergleichung der Massen rechtfertigen. Man mußte das spezifische Gewicht des Quecksilbers bei der Temperatur, bei der diese Aichung ausgeführt wurde, kennen und zu diesem Zwecke das spezifische Gewicht bei 0°, von dem man nicht Gebrauch machen kann, ohne die Gesetze der Hydrostatik zu kennen. Man mußte das Gesetz der Ausdehnung des Quecksilbers kennen, das mit Hilfe eines Apparates bestimmt wird, bei dem ein Vergrößerungsglas Anwendung findet und demzufolge gewisse Gesetze der Optik vorausgesetzt sind. In dieser Art wird die Kenntnis einer Menge von Kapiteln der Physik notwendigerweise vorausgesetzt, um zur Bildung dieses abstrakten Begriffes: das vom Gas eingenommene Volumen, zu kommen.

Noch viel komplizierter, noch enger mit den tiefsten Theorien der Physik verbunden ist die Entstehungsgeschichte jenes anderen

abstrakten Begriffes: die Größe des vom Gase ausgeübten Druckes. Um sie zu definieren, um sie auszuwerten, mußte man so heikle, so schwer erlangbare Begriffe, wie den des Druckes und der Adhäsion verwenden. Man mußte die von Laplace angegebene Formel für die barometrische Höhenmessung, die aus den Gesetzen der Hydrostatik abgeleitet ist, zu Hilfe nehmen, man mußte das Gesetz der Kompressibilität des Quecksilbers, dessen Bestimmung an die heikelsten und meist umstrittenen Fragen der Elastizitätstheorie geknüpft ist, in Betracht ziehen.

So hatte Regnault, wenn er einen Versuch ausführte, Tatsachen vor Augen, er beobachtete Erscheinungen. Was er uns aber von diesem Experiment mitteilt, besteht nicht in einem Bericht über die beobachteten Tatsachen. Es sind die abstrakten Symbole, welche er mit Hilfe der in Betracht kommenden Theorien an Stelle der konkreten Aussagen, die er erhielt, setzen konnte.

Was Regnault tat, muß notwendigerweise jeder physikalische Experimentator tun. Deshalb können wir folgendes Prinzip aussprechen, dessen Konsequenzen sich im Verlaufe unserer Ausführungen ergeben werden:

Ein physikalisches Experiment ist die genaue Beobachtung einer Gruppe von Erscheinungen, die verbunden wird mit der INTERPRETATION derselben; diese Interpretation ersetzt das konkret Gegebene, mit Hilfe der Beobachtung wirklich Erhaltene durch abstrakte und symbolische Darstellungen, die mit ihnen übereinstimmen auf Grund der Theorien, die der Beobachter als zulässig annimmt.

§ 2. — Das Resultat eines physikalischen Experimentes ist ein abstraktes und symbolisches Urteil.

Das Charakteristikum, welches so klar das physikalische Experiment von einem gewöhnlichen Experiment unterscheidet, indem es in das erstere als wesentliches Element die theoretische Interpretation einführt, die bei dem letzteren ausgeschlossen ist, zeigt gleichzeitig die Resultate an, auf die diese beiden Arten von Experimenten hinzielen.

Das Resultat des gewöhnlichen Experiments ist die Konstatierung einer Beziehung zwischen verschiedenen konkreten Tatsachen. Eine bestimmte Tatsache wurde künstlich hervorgebracht, eine andere resultierte daraus. Man hat zum Beispiel einen Frosch enthauptet und in dessen linken Fuß mit einer Nadel gestochen. Der rechte Fuß hat sich bewegt und das Bestreben gezeigt die Nadel zu entfernen. Das ist das Resultat eines physiologischen Experimentes. Es ist ein Bericht über die konkreten Tatsachen. Um diesen Bericht zu verstehen braucht man kein Wort von Physiologie zu wissen.

Das Resultat der Operationen, die den physikalischen Experimentator beschäftigen ist keineswegs die Konstatierung einer Gruppe konkreter Tatsachen. Es ist der Ausdruck eines Urteils, das gewisse abstrakte symbolische Begriffe mit einander verbindet, deren Abhängigkeit von den wirklich beobachteten Tatsachen allein durch die Theorien hergestellt wird. Diese Wahrheit springt jedem, der nachdenkt, in die Augen. Öffnen wir irgend eine Abhandlung aus dem Gebiete der experimentellen Physik und lesen wir die Schlußfolgerungen. Diese Schlußfolgerungen sind keineswegs die bloße einfache Darlegung gewisser Erscheinungen. Sie sind abstrakte Ausdrücke, denen wir keinen Sinn unterlegen können, wenn wir nicht die physikalischen Theorien kennen, auf die sich der Autor stützt. Wir lesen zum Beispiel dort, daß die elektromotorische Kraft einer bestimmten Gassäule um eine gewisse Anzahl Volt steigt, wenn der Druck um eine bestimmte Anzahl Atmosphären wächst. Was bedeutet dieser Satz? Man kann seinen Sinn nicht erfassen, ohne zu den mannigfaltigsten und höchsten Theorien der Physik zu greifen. Wir haben bereits gesagt, daß der Druck ein quantitatives Symbol sei, das durch die Mechanik eingeführt wird und das eines der subtilsten ist, die diese Wissenschaft behandelt. Um die Bedeutung des Wortes elektromotorische Kraft zu verstehen, muß man von der von Ohm und Kirchhoff begründeten elektrokinetischen Theorie Gebrauch machen. Das Volt ist die Einheit der elektromotorischen Kraft in dem System praktischer elektromagnetischer Einheiten. Die Definition dieser Einheit

wird aus den Gleichungen des Elektromagnetismus und der Induktion, die von Ampère, F. E. Neumann und W. Weber aufgestellt wurden, abgeleitet. Keines der Worte, die bei dem Aussprechen des Resultates eines solchen Versuches verwendet werden, drückt direkt ein sichtbares und tastbares Objekt aus. Jedes von ihnen hat einen abstrakten und symbolischen Sinn. Dieser Sinn ist mit den konkreten Realitäten durch lange komplizierte theoretische Mittelglieder verbunden.

Bleiben wir noch bei diesen Bemerkungen, die so wichtig für ein wirkliches Verständnis der Physik sind und dabei so oft mißverstanden werden.

Jemand, der die Physik nicht kennt, für den der Wortlaut eines experimentellen Resultates toter Buchstabe bleibt, könnte versucht sein in einem Satz, wie dem angeführten, einfach die Darstellung der vom Experimentator beobachteten Tatsachen in einer technischen Terminologie, die den Laien unfaßbar, den Eingeweihten aber klar ist, zu sehen. Das wäre ein Irrtum.

Ich bin auf einem Segelschiff, ich höre den Wachtoffizier folgendes Kommando ausrufen: „Bram und Oberbram streichen!" Da ich das Marinewesen nicht kenne, verstehe ich diese Worte nicht, aber ich sehe die Mannschaft auf vorher festgesetzte Posten laufen, bestimmte Taue ergreifen und sie im Takt heben. Die Worte, die der Offizier ausgesprochen hat, bilden für sie die Bezeichnung konkreter klar bestimmter Objekte, die in ihrem Kopf den Gedanken eines bekannten Manövers, das sie auszuführen haben, erwecken. Dies ist für den Eingeweihten die Wirkung eines technischen Ausdruckes.

Ganz anders ist die Sprache des Physikers. Nehmen wir an, daß vor einem Physiker folgender Satz ausgesprochen werde: Wenn man den Druck um so und so viel Atmosphären steigert, vergrößert man die elektromotorische Kraft der Säule um so und so viel Volt. Es ist wohl wahr, daß der Eingeweihte, der die Theorien der Physik kennt, diesen Ausspruch in die Wirklichkeit übersetzen, dieses Experiment, dessen Resultat so ausgedrückt wird, realisieren kann. Aber es ist zu beachten, daß er es in einer Unzahl verschiedener Arten reali-

sieren kann. Er kann den Druck erzeugen, indem er Quecksilber in eine Glasröhre gießt, indem er ein mit Flüssigkeit gefülltes Reservoir in die Höhe hebt, indem er eine hydraulische Presse in Bewegung setzt oder einen Kolben in ein mit Wasser gefülltes Gefäß einschraubt. Er kann diesen Druck mit einem mit gewöhnlicher Luft oder mit einem mit komprimierter Luft gefüllten Manometer oder schließlich mit einem metallischen Manometer messen. Um die Änderung der elektromotorischen Kraft zu bestimmen, kann er der Reihe nach alle bekannten Typen von Elektrometern, Galvanometern, Elektrodynamometern und Voltmetern verwenden. Jede neue Anordnung der Apparate führt ihn zur Konstatierung neuer Tatsachen. Er kann Anordnungen von Apparaten verwenden, die der Urheber des Versuches nicht geahnt hat und Erscheinungen sehen, die derselbe niemals beobachtet hat. Dabei sind alle diese Verrichtungen, die für den Laien keinerlei Analogie aufweisen, tatsächlich nicht verschiedene Experimente. Sie sind nur verschiedene Formen desselben Experimentes. Die Tatsachen, die wirklich hervortraten, waren einander so unähnlich wie nur möglich; die Konstatierung dieser Tatsachen dagegen wird durch ein und denselben Satz vollzogen: Die elektromotorische Kraft dieser Säule wächst um so und so viele Volt, wenn der Druck um so und so viele Atmosphären steigt.

Es ist demnach klar, daß die Sprache, in welcher der Physiker die Resultate seiner Experimente ausdrückt nicht in technischen Ausdrücken besteht, die denen gleichen, die die verschiedenen Künste und Handwerke verwenden. Sie gleicht der technischen Sprache darin, daß der Eingeweihte sie in die Wirklichkeit übersetzen kann; sie unterscheidet sich aber von dieser dadurch, daß ein in einer technischen Sprache gegebener Satz eine bestimmte an konkreten, klar definierten Objekten auszuführende Operation anzeigt, während ein Satz der physikalischen Sprache in einer Unzahl verschiedener Arten realisiert werden kann.

Denjenigen, welche mit Hrn. Le Roy den wesentlichen Anteil, der der theoretischen Interpretation bei der Darlegung einer experimentellen Tatsache zukommt, betonen, hat Hr.

H. Poincaré[1]) die gleiche Meinung, die wir jetzt gerade bekämpfen, entgegen gestellt. Nach ihm ist die physikalische Theorie ein einfaches Vokabularium, das die Übersetzung der konkreten Tatsachen in eine, auf Konvention beruhende, einfache und bequeme Sprache ermöglicht. „Die wissenschaftliche Tatsache", sagt er[2]), „ist nur die rohe Tatsache, in eine bequeme Sprache übersetzt." Und weiter[3]): „Alles, was der Gelehrte an einer Tatsache erschafft ist die Sprache, in der er sie ausdrückt."

„Wenn ich ein Galvanometer[4]) beobachte und einen Laien, der mich besucht frage: Fließt der Strom? wird er den Draht betrachten, und sich bemühen an demselben irgend ein Ding, das sich bewegt, zu bemerken. Wenn ich dieselbe Frage aber meinem Gehilfen stelle, der meine Sprache versteht, weiß er, daß das heißen soll: Bewegt sich der Lichtstreifen? und er wird auf die Skala sehen."

„Welcher Unterschied besteht nun zwischen dem Wortlaut einer rohen und dem einer wissenschaftlichen Tatsache? Es ist derselbe Unterschied wie zwischen dem Wortlaut einer rohen Tatsache in der französischen Sprache und dem Wortlaut derselben Tatsache in der deutschen Sprache. Der wissenschaftliche Wortlaut ist die Übersetzung des rohen Wortlautes in eine Sprache, die sich vor allem dadurch vom gewöhnlichen Französischen oder gewöhnlichem Deutsch unterscheidet, daß sie von einer weit geringeren Anzahl von Personen gesprochen wird."

Es ist nicht richtig, daß die Worte: „Der Strom fließt" eine einfache auf Konvention beruhende Art des Ausdruckes der Tatsache sei, daß das Magnetstäbchen dieses Galvanometers abgelenkt sei. In der Tat könnte auf die Frage: „Fließt der Strom?" mein Gehilfe sehr wohl antworten: „Der Strom

[1]) H. Poincaré: Sur la valeur objective des théories physiques (Revue de Métaphysique et de Morale, 10e année, 1902, p. 263).

[2]) H. Poincaré: Loc. cit. p. 272 [in der deutschen Übersetzung von Poincarés „Der Wert der Wissenschaft", Leipzig 1906, p. 174].

[3]) H. Poincaré: Loc. cit. p. 273 [deutsch l. c. p. 176].

[4]) H. Poincaré: Loc. cit. p. 270 [deutsch l. c. p. 171].

fließt, der Magnet ist aber nicht abgelenkt, das Galvanometer scheint irgend einen Fehler zu haben". Warum behauptet er obgleich die Angabe des Galvanometers fehlt, daß der Strom fließt? Weil er an einem Voltameter, das in denselben Stromkreis eingeschaltet ist, das Auftreten von Gasblasen konstatierte, oder auch, daß eine Glühlampe, die in denselben Kreis eingeschaltet ist leuchtete, oder wohl auch, daß eine Spule die aus dem Draht, der denselben bildet, gewickelt ist, sich erwärmte, oder, daß bei einer Unterbrechung der Verbindung Funken auftraten. Es kann daher auf Grund der als zulässig erkannten Theorien jede dieser Tatsachen, ebenso wie die Ablenkung des Galvanometers von ihm durch die Worte: „Der Strom fließt" übersetzt werden. Diese Anordnung der Worte bedeutet daher nicht eine gewisse konkrete Tatsache, in einer technischen und konventionellen Sprache, sondern eine symbolische Formel, die keinen Sinn für den hat, der die physikalischen Theorien nicht kennt. Für den aber, der diese Theorien kennt, läßt sie sich in einer Unzahl verschiedener Arten in konkrete Tatsachen übersetzen, da alle diese unzusammenhängenden Tatsachen dieselbe theoretische Interpretation zulassen.

Herr H. Poincaré weiß[1]), daß man gegen die Lehre, deren Anhänger er ist, diesen Einwand erheben kann. Im folgenden sehen wir, wie er ihn darlegt[2]) und wie er ihn beantwortet:

„Doch übereilen wir uns nicht! Um einen Strom zu messen, kann ich mich einer großen Anzahl verschiedenartiger Galvanometer oder auch eines Elektrodynamometers bedienen. Wenn ich dann sage, in diesem Kreis fließt ein Strom von so und so viel Ampère, so bedeutet das: wenn ich in diesen Stromkreis ein bestimmtes Galvanometer einschalte, so wird der Licht-

[1]) Man braucht übrigens darüber nicht erstaunt zu sein, wenn man bedenkt, daß die vorangehenden Ausführungen von uns mit beinahe gleichlautenden Worten schon im Jahre 1894 veröffentlicht wurden, während der Artikel des Hrn. Poincaré 1902 erschien. Wenn man unsere zwei Artikel vergleicht, kann man sich leicht überzeugen, daß Hr. Poincaré an dieser Stelle unsere Ansicht ebensosehr bekämpft, wie die des Hrn. Le Roy.

[2]) Loc. cit. p. 270 [deutsch l. c. p. 171—172].

streifen auf den Teilstrich a fallen; es bedeutet aber auch: wenn ich in diesen Stromkreis ein bestimmtes Elektrodynamometer einschalte, so wird der Lichtstreifen auf den Teilstrich b fallen. Und es bedeutet noch vielerlei anderes; denn der Strom kann sich nicht nur durch mechanische Wirkungen kundgeben, sondern auch durch chemische Wirkungen, durch Licht und Wärmewirkungen usw."

„Dies ist also der gleiche Wortlaut, der auf eine große Zahl durchaus verschiedener Tatsachen paßt. Wie kommt das? Weil ich ein Gesetz annehme, nach dem jedesmal, wenn sich ein bestimmter mechanischer Vorgang zeigt, sich auch ein bestimmter chemischer Vorgang zeigen wird. Sehr zahlreiche frühere Erfahrungen haben mir gezeigt, daß dieses Gesetz niemals trügt, und dann habe ich mir klar gemacht, daß ich zwei so unveränderlich miteinander verbundene Tatsachen durch die gleichen Worte ausdrücken könnte."

Herr H. Poincaré erkennt somit, daß die Worte: „Dieser Draht ist von einem Strom von so und soviel Ampère durchflossen" nicht eine einzige Tatsache, sondern eine Unzahl möglicher Tatsachen und zwar gemäß den konstanten Beziehungen zwischen verschiedenen experimentellen Gesetzen, ausdrückt. Aber sind diese Beziehungen nicht genau das, was jedermann die Theorie des elektrischen Stromes nennt? Eben weil die Ausbildung dieser Theorie vorausgesetzt wird, ist es möglich in den Worten: „Es fließt in diesem Draht ein Strom von so und so viel Ampère" so viel verschiedene Bedeutungen zu kondensieren. Die Aufgabe des Gelehrten hat sich daher nicht darauf beschränkt eine klare und bündige Sprache zu schaffen, um die konkreten Tatsachen auszudrücken, vielmehr setzte das Entstehen dieser Sprache die Ausbildung einer physikalischen Theorie voraus.

Zwischen einem abstrakten Symbol und einer konkreten Tatsache kann eine Verbindung bestehen, niemals aber vollkommene Gleichheit. Das abstrakte Symbol kann keine adäquate Darstellung der konkreten Tatsache, die konkrete Tatsache niemals die strenge Verwirklichung des abstrakten Sym-

boles sein. Die abstrakte und symbolische Formel, durch die ein Physiker die konkreten Tatsachen, die er bei der Ausführung eines Experimentes konstatiert hat, ausdrückt, kann nicht ein genauer Ersatz, eine getreue Wiedergabe dieser Feststellungen sein.

Dieser Unterschied zwischen der praktischen Tatsache, die wirklich beobachtet wurde und der theoretischen Tatsache, d. h. der symbolischen und abstrakten Formel, die vom Physiker ausgesprochen wird, zeigt sich uns darin, daß konkrete, sehr verschiedene Tatsachen miteinander vermengt werden können, wenn sie durch die Theorie so interpretiert sind, daß sie nur ein einziges Experiment bilden und durch einen einzigen symbolischen Ausdruck dargestellt werden: Derselben theoretischen Tatsache können eine Unzahl praktischer Tatsachen entsprechen.

Dieser selbe Unterschied zeigt sich uns auch noch in einer anderen Konsequenz: Derselben praktischen Tatsache können eine Unzahl theoretischer Tatsachen entsprechen, die logisch mit einander nicht vereinbar sind. Derselben Gruppe konkreter Tatsachen kann im allgemeinen nicht nur ein einziges symbolisches Urteil entsprechen, sondern eine Unzahl voneinander verschiedener Urteile, die sich logisch widersprechen.

Ein Experimentator hat gewisse Beobachtungen ausgeführt und folgendermaßen dargestellt: Eine Vermehrung des Druckes um 100 Atmosphären erhöht die elektromotorische Kraft dieser Gassäule um 0,0845 Volt; er hätte mit derselben Berechtigung sagen können, daß diese Vermehrung des Druckes die elektromotorische Kraft um 0,0844 Volt oder um 0,0846 Volt erhöhe. Wieso können diese verschiedenen Angaben für den Physiker gleichwertig sein? Für den Mathematiker widersprechen sie einander, denn wenn eine Zahl 845 ist, kann sie weder 844 noch 846 sein.

Der Physiker will folgendes ausdrücken, wenn er erklärt, daß diese drei Urteile für ihn identisch sind: Indem er den Wert 0,0845 Volt für die Abnahme der elektromotorischen Kraft annimmt, berechnet er mit Hilfe der als zulässig er-

kannten Theorien die Ablenkung, die die Nadel seines Galvanometers erfahren würde, wenn er durch das Instrument den von der Säule gelieferten Strom leiten würde; das ist in der Tat die Erscheinung, die seine Sinne beobachten können. Er findet, daß diese Ablenkung eine gewisse Größe haben wird. Wenn er dieselbe Rechnung unter der Annahme, daß die elektromotorische Kraft der Säule um 0,0844 oder auch um 0,0846 Volt abnehme, wiederholt, findet er andere Werte für die Ablenkung des Magneten. Aber diese drei so berechneten Ablenkungen differieren zu wenig, als daß man sie unterscheiden könnte. Das ist der Grund, warum der Physiker die drei Werte der Verminderung der elektromotorischen Kraft 0,0845 Volt, 0,0844 Volt und 0,0846 Volt nicht auseinanderhält, während der Mathematiker sie als unvereinbar betrachtet.

Zwischen der theoretischen Tatsache, die genau und streng ist und der praktischen Tatsache mit ihren Konturen, die so verschwommen und unbestimmt, wie alles, was uns durch unsere Wahrnehmung kund wird, sind, gibt es keine übereinstimmende Beziehung. Daher kann dieselbe praktische Tatsache einer Unzahl theoretischer Tatsachen entsprechen. Wir haben im vorausgehenden Kapitel diesen Unterschied und seine Konsequenzen genügend ausführlich behandelt, um hier nicht wieder darauf zurückkommen zu müssen.

Eine einzige theoretische Tatsache kann daher durch eine Unzahl zusammenhangloser praktischer Tatsachen ausgedrückt werden, eine einzige praktische Tatsache entspricht einer Unzahl unvereinbarer theoretischer Tatsachen. Diese zweifache Konstatierung bringt uns die Wahrheit, die wir darlegen wollten, vor Augen: Zwischen den bei der Ausführung eines Experimentes wirklich festgestellten Erscheinungen und dem Resultat dieses Experimentes, das vom Physiker formuliert wird, muß eine intellektuelle, sehr komplizierte Arbeit eingeschaltet werden, die einen Bericht über die konkreten Tatsachen durch ein abstraktes und symbolisches Urteil substituiert.

§ 3. — Nur die theoretische Interpretation der Erscheinungen ermöglicht den Gebrauch der Instrumente.

Die Bedeutung dieser intellektuellen Operation, durch die die vom Physiker wirklich beobachteten Erscheinungen gemäß der als zulässig erkannten Theorien interpretiert werden, äußert sich nicht nur in der Form, die das Resultat des Experimentes annimmt, sondern gleichermaßen an den Hilfsmitteln, die der Experimentator anwendet.

Es wäre in der Tat unmöglich, die Instrumente, die man in den physikalischen Laboratorien findet, anzuwenden, wenn man nicht die konkreten Objekte, die diese Instrumente darstellen durch ein abstraktes und schematisches Bild ersetzte, das die mathematische Betrachtung ermöglicht, wenn man nicht diese Kombination von Abstraktionen den Deduktionen und Rechnungen unterlegen würde, die den Zusammenhang mit den Theorien herstellen.

Im Anfang wird diese Behauptung den Leser in Verwunderung setzen.

Viele Leute verwenden die Lupe, die ein physikalisches Instrument ist. Um von ihr Gebrauch zu machen, haben sie es nicht nötig, dieses gewölbte, geschliffene, glänzende, schwere Stück Glas, das in Kupfer oder Horn gefaßt ist, durch zwei zusammenhängende sphärische Flächen, die ein Medium von gewissem Brechungsindex begrenzen, zu ersetzen, obwohl allein diese Flächen den Betrachtungen der Dioptrik zugänglich sind. Sie haben kein Studium der Dioptrik nötig, sie brauchen die Theorie der Lupe nicht zu kennen. Es genügt für sie, das gleiche Objekt erst mit bloßem Auge und dann mit der Lupe zu betrachten, um zu konstatieren, daß das Objekt in beiden Fällen den gleichen Anblick darbietet, daß es aber im zweiten viel größer erscheint, als im ersten. Wenn ihnen daher durch die Lupe ein Objekt sichtbar wird, das das bloße Auge nicht bemerkt, so ermöglicht ihnen eine ganz spontane Generalisation, die dem gewöhnlichen Laienverstand entspringt, die Behauptung, daß dieses Objekt durch die Lupe bis zur Sichtbarkeit vergrößert wurde, daß es aber durch die Linse weder

geschaffen noch umgeformt wurde. Die spontanen Urteile des Laienverstandes genügen daher um den Gebrauch, den sie von der Lupe bei ihren Beobachtungen machen, zu rechtfertigen, die Resultate dieser Beobachtungen hängen in keiner Weise von den Theorien der Dioptrik ab.

Als Beispiel wurde eines der einfachsten und gröbsten Instrumente der Physik gewählt. Ist es aber wirklich wahr, daß man dieses Instrument verwenden kann, ohne auf die Theorien der Dioptrik Bezug zu nehmen? Die Objekte, die durch die Lupe gesehen werden, scheinen einen Rand bestehend aus den Regenbogenfarben zu besitzen. Bedürfen wir nicht der Theorie der Dispersion, die uns lehrt, daß diese Farben vom Instrumente geschaffen werden, um von ihnen zu abstrahieren, wenn wir das beobachtete Objekt beschreiben? Und um wieviel bedeutungsvoller wird diese Bemerkung, wenn es sich nicht um eine einfache Lupe, sondern um ein Mikroskop von starker Vergrößerung handelt! Welchen eigenartigen Irrtümern würde man sich aussetzen, wenn man naiverweise den beobachteten Objekten die Form und Farbe, in der sie im Instrument erscheinen, zuschreiben wollte, wenn eine Diskussion, die aus den optischen Theorien abgeleitet ist, uns nicht erlauben würde den Anteil der Erscheinungen und den der Wirklichkeit zu sondern!

Bei dem Mikroskop indessen, das nur zur rein qualitativen Beschreibung sehr kleiner konkreter Objekte bestimmt ist, sind wir noch weit von den Instrumenten entfernt, die der Physiker anwendet. Die mit Hilfe solcher Instrumente kombinierten Versuche sollen nicht zu einem Bericht über reale Tatsachen, zu einer Beschreibung konkreter Objekte, sondern zur numerischen Auswertung gewisser, durch die Theorien geschaffener Symbole führen.

Nehmen wir zum Beispiel das Instrument, das man Tangentenbussole nennt. Über einem kreisförmigen Rahmen ist ein seidenumsponnener Kupferdraht aufgewickelt. Im Zentrum des Rahmens ist an einem Kokonfaden ein kleines Magnetstäbchen aus Stahl aufgehängt. Eine Aluminiumnadel, die von diesem Stäbchen getragen wird, bewegt sich über einem

in Grade geteilten Kreis und ermöglicht so die Orientierung des Stäbchens mit Genauigkeit festzustellen. Wenn die beiden Enden des Kupferdrahtes mit den Polen einer Säule verbunden werden, erfährt der Magnet eine Ablenkung, die wir an dem geteilten Kreise ablesen können; sie sei zum Beispiel 30°.

Die einfache Konstatierung dieser Tatsache erfordert keinerlei Beschäftigung mit den physikalischen Theorien, aber sie bildet ebensowenig ein physikalisches Experiment. Der Physiker beabsichtigt ja tatsächlich nicht, die Ablenkung, die der Magnet erfährt, kennen zu lernen, sondern vielmehr die Intensität des Stromes zu messen, der den Kupferdraht durchfließt.

Um nun die Grösse dieser Intensität auf Grund der Größe 30°, die die beobachtete Ablenkung aufwies, zu berechnen, ist es nötig diesen letzteren Wert in eine bestimmte Formel einzusetzen. Diese Formel ist eine Konsequenz der Gesetze des Elektromagnetismus. Für den, der die elektromagnetische Theorie von Laplace und Ampère nicht als richtig anerkennen würde, wäre der Gebrauch dieser Formel, die Rechnung, die die Stromintensität kennen lehren soll, tatsächlich ohne Sinn.

Diese Formel wird für alle möglichen Tangentenbussolen, für alle Ablenkungen, für alle Stromintensitäten angewendet. Um aus ihr die Größe der bestimmten Intensität, die es zu messen gilt, abzuleiten muß man sie spezialisieren, indem man nicht nur in sie die besondere Größe der Ablenkung — 30° — die beobachtet wurde, einführt, sondern indem man sie statt auf eine beliebige Tangentenbussole auf die bestimmte, mit der gearbeitet wird, anwendet. Wie wird diese Spezialisierung ausgeführt? Gewisse Buchstaben in der Formel stellen die charakteristischen Konstanten des Instrumentes dar: Den Radius des kreisförmigen Drahtes, den der Strom durchfließt, das Moment des Magneten, die Größe und Richtung der Feldstärke an dem Ort, wo sich das Instrument befindet. Diese Buchstaben ersetzt man durch die numerischen Werte, die dem angewendeten Instrumente und dem Laboratorium in dem es sich befindet, zukommen.

Was setzt nun diese Art in der wir ausdrücken, daß wir

uns dieses bestimmten Instrumentes bedient, daß wir in diesem bestimmten Laboratorium gearbeitet haben, voraus? Sie setzt voraus, daß wir an Stelle des Kupferdrahtes von einer gewissen Dicke, durch den wir den Strom geschickt haben, einen Kreisbogen substituieren, eine geometrische Linie ohne Dicke, die vollständig durch ihren Radius definiert ist. An Stelle des magnetisierten Stahlstückes von bestimmter Größe und bestimmter Form, das an einem Kokonfaden hängt, substituieren wir eine horizontale magnetische Achse, die unendlich klein, ohne Reibung um eine vertikale Achse beweglich ist und ein gewisses magnetisches Moment besitzt. An Stelle des Laboratoriums, wo der Versuch ausgeführt wird, substituieren wir einen gewissen Raum, der durch eine bestimmte Richtung und Größe der magnetischen Feldstärke vollständig definiert ist.

Wenn es sich so bloß um die Ablesung der Ablenkung des Magneten handelt, so haben wir nur eine gewisse Anordnung von Kupfer, Stahl, Aluminium, Glas und Seide betastet und betrachtet, die mit drei Stellschrauben auf einer bestimmten Konsole in einem bestimmten Laboratorium ruht, das sich in der Faculté des Sciences in Bordeaux im Erdgeschoß befindet. Aber dieses Laboratorium, in das ein Besucher, der in der Physik Laie ist, eintreten kann, dieses Instrument, das man untersuchen kann, ohne irgend etwas vom Elektromagnetismus zu wissen, haben wir außer Betracht gelassen, wenn es sich darum handelt, unser Experiment durch die Interpretation der ausgeführten Ablesungen zu vollenden, was durch die Anwendung der Formel für die Tangentenbussole geschieht. Wir haben die Anordnung eines magnetischen Feldes, einer magnetischen Achse, eines magnetischen Momentes, eines kreisförmigen Stromes von bestimmter Intensität angenommen, d. h. eine Gruppierung von Symbolen, denen nur die physikalischen Theorien einen Sinn verleihen, die für diejenigen, die den Elektromagnetismus nicht kennen, unbegreiflich sind.

Wenn daher ein Physiker einen Versuch ausführt, ist sein Geist gleichzeitig mit zwei wohlunterschiedenen Vorstellungen

des Instrumentes, an dem er arbeitet, beschäftigt. Die eine ist das Bild des konkreten Instrumentes, das er in Wirklichkeit handhabt, die andere ist ein schematischer Typus desselben Instrumentes, der mit Hilfe der Symbole, die diese Theorie liefert, konstruiert wird. Es ist das ideale und symbolische Instrument, über das er nachdenkt, auf das er die Gesetze und Formeln der Physik anwendet.

Diese Prinzipien ermöglichen die Definition dessen, was man versteht, wenn man von der Erhöhung der Genauigkeit eines Experimentes durch Elimination der Fehlerquellen mit Hilfe geeigneter Korrektionen spricht. Wir werden in der Tat sehen, daß diese Korrektionen, nichts anderes sind, als Verbesserungen, die an der theoretischen Interpretation des Experimentes angebracht werden.

Nach Maßgabe des Fortschrittes der Physik wird die Unbestimmtheit der Gruppe abstrakter Urteile, die der Physiker derselben konkreten Tatsache entsprechen läßt, eingeschränkt. Die Genauigkeit der experimentellen Resultate wächst nicht nur, weil die Konstrukteure immer genauere Instrumente liefern, sondern auch, weil die physikalischen Theorien immer geeignetere Methoden angeben, um die Beziehung zwischen den Tatsachen und den schematischen Begriffen, die sie darstellen sollen, herzustellen. Diese wachsende Genauigkeit wird, das muß zugegeben werden, durch eine wachsende Kompliziertheit erkauft, durch die Notwendigkeit zu gleicher Zeit mit der Grundtatsache eine Serie von Nebentatsachen zu beobachten, durch die Notwendigkeit, die rohen Feststellungen des Experimentes immer zahlreicheren und heikleren Kombinationen und Transformationen zu unterwerfen. Diese Transformationen, die man an den unmittelbar gegebenen Tatsachen des Experimentes vornimmt, sind die Korrektionen.

Wenn das physikalische Experiment die einfache Konstatierung einer Tatsache wäre, erschiene es absurd, an ihm Korrektionen anzubringen. Wenn der Beobachter aufmerksam, sorgfältig und genau beobachtet hat, wäre es lächerlich ihm zu sagen: Das, was Sie gesehen haben, ist nicht das, was sie hätten sehen sollen, erlauben Sie mir einige Rech-

nungen anzustellen, die Ihnen zeigen werden, was Sie hätten konstatieren sollen.

Die logische Rolle der Korrektionen wird dagegen sehr wohl begreiflich, wenn man sich erinnert, daß ein physikalisches Experiment nicht nur in der Konstatierung einer Gruppe von Tatsachen, sondern auch in der Übersetzung dieser Tatsachen in eine logische Sprache mit Hilfe der von den physikalischen Theorien gelieferten Regeln besteht. Es geht daraus in der Tat hervor, daß der Physiker unaufhörlich zwei Instrumente miteinander vergleicht: Das wirkliche Instrument, mit dem er manipuliert und das ideale und symbolische Instrument, das ihm vorschwebt. Das Wort Manometer bezeichnet zum Beispiel bei Regnault zwei im Wesen verschiedene Dinge, die aber unlösbar miteinander verbunden sind: Einerseits eine Reihe von Glasröhren, die fest miteinander verbunden an den Turm des Lyceums Henri IV. angelehnt und mit einem flüssigen sehr schweren Metall, das die Chemiker Quecksilber nennen, angefüllt sind, anderseits eine Säule jenes idealen Dinges, das die Mechaniker vollkommene Flüssigkeit nennen, die in jedem Punkte eine bestimmte Dichte und eine bestimmte Temperatur besitzt, die durch eine bestimmte Gleichung der Kompressibilität und Dilatation definiert ist. Auf das erste dieser beiden Manometer richtet der Gehilfe von Regnault das Fernrohr des Kathetometers, auf das zweite wendet der große Physiker die Gesetze der Hydrostatik an.

Das schematische Instrument kann nicht ein genauer Ersatz für das wirkliche Instrument sein; aber man begreift, daß es davon ein mehr oder minder vollkommenes Bild geben kann; man begreift, daß der Physiker, nachdem er über ein zu einfaches und zu sehr von der Wirklichkeit entferntes, schematisches Instrument Betrachtungen angestellt hat, versucht, es durch ein komplizierteres aber ähnlicheres Schema zu ersetzen. Dieser Übergang von einem gewissen schematischen Instrument zu einem anderen, welches besser das konkrete Instrument darstellt, ist im wesentlichen die Operation, die man in der Physik mit dem Worte Korrektion bezeichnet.

Ein Gehilfe von Regnault gibt ihm die Höhe der Queck-

silbersäule eines Manometers an; Regnault korrigiert sie; hat er seinen Gehülfen im Verdacht, daß er schlecht gesehen, daß er sich in seinen Ablesungen getäuscht habe? Nein; er hat volles Vertrauen in die Beobachtungen, die ausgeführt wurden; wenn er dieses Vertrauen nicht hätte, könnte er dieses Experiment nicht korrigieren; er könnte es nur von neuem beginnen. Wenn daher Regnault diese durch seinen Gehilfen bestimmte Höhe durch eine andere ersetzt, so geschieht dies auf Grund intellektueller Operationen, die dazu bestimmt sind, den Unterschied zwischen dem idealen, symbolischen Manometer, das nur in seinen Gedanken existiert, das den Gegenstand seiner Rechnungen bildet, und dem wirklichen Manometer aus Glas und Quecksilber, das er vor Augen hat, an dem sein Gehilfe Ablesungen macht, zu verkleinern. Regnault könnte dieses wirkliche Manometer durch ein ideales Manometer darstellen, das aus einer inkompressibeln Flüssigkeit gebildet ist, das überall dieselbe Temperatur besitzt, das in jedem Punkte seiner freien Oberfläche einem von der Höhe unabhängigen Atmosphärendruck ausgesetzt ist; zwischen diesem allzueinfachen Schema und der Wirklichkeit wäre der Unterschied allzugroß und die Genauigkeit des Experimentes wäre, wenn man von ihm ausginge, ungenügend. Daher ersinnt er ein neues, ideales Manometer, das komplizierter als das erste ist, aber besser das wirkliche, konkrete Manometer darstellt. Er setzt dieses neue Manometer aus einer kompressibeln Flüssigkeit zusammen, er läßt zu, daß die Temperatur sich von Punkt zu Punkt ändere und gleicherweise, daß der Barometerdruck variière, wenn man sich in der Atmosphäre erhebt. Jede dieser Änderungen am primitiven Schema bildet eine Korrektion: Eine Korrektion in bezug auf die Kompressibilität des Quecksilbers, eine Korrektion in bezug auf die ungleiche Erwärmung der Quecksilbersäule, die Laplacesche Korrektion in bezug auf die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe. Alle diese Korrektionen haben die Wirkung, die Genauigkeit des Experimentes zu erhöhen.

Der Physiker, der durch Korrektionen die theoretische Darstellung der beobachteten Tatsachen kompliziert, um diese Dar-

stellung der Wirklichkeit näher zu bringen gleicht dem Künstler, der nachdem er ein Bild in den Umrissen ausgeführt hat, noch Schatten hinzufügt, um auf der ebenen Fläche die Plastik des Modelles besser hervorzuheben.

Wer in den Experimenten der Physik nur Feststellungen von Tatsachen sieht, wird die Rolle, die die Korrektionen bei den Experimenten spielen, nicht begreifen. Er wird weiter nicht begreifen, was man darunter versteht, wenn man von systematischen Fehlern spricht, die bei einem Experiment auftreten können.

Wenn man bei einem Experiment die Ursache eines systematischen Fehlers bestehen läßt, so heißt das so viel, daß man eine Korrektion, welche man hätte ausführen können und die die Genauigkeit des Experimentes erhöht hätte, unterlassen hat. Es heißt das, daß man sich mit einem zu einfachem theoretischen Bild begnügt hat, während man es durch ein komplizierteres, das aber besser die Wirklichkeit darstellt, ersetzen könnte. Es heißt, daß man sich mit einer Skizze der Umrisse begnügt, während man eine schattierte Zeichnung ausführen könnte.

Bei seinen Versuchen über die Kompressibilität der Gase ließ Regnault eine systematische Fehlerquelle bestehen, die er nicht bemerkte, die aber seither aufgewiesen wurde. Er hatte die Wirkung der Schwere auf das Gas, das der Kompression ausgesetzt wird, nicht in Betracht gezogen. Was will man sagen, wenn man Regnault vorwirft, diese Wirkung nicht in Betracht gezogen, diese Korrektion unterlassen zu haben? Will man sagen, daß ihn seine Sinne bei der Beobachtung der Erscheinungen, die vor seinen Augen auftraten, täuschten, keineswegs; man wirft ihm vor, daß er das theoretische Bild dieser Tatsachen allzusehr vereinfacht habe, indem er sich das Gas, das der Kompression unterworfen wurde, als homogene Flüssigkeit vorstellt. Denn wenn er es als Flüssigkeit, deren Druck mit der Höhe gemäß einem bestimmten Gesetz variiert, betrachtet hätte, würde er ein neues abstraktes Bild erhalten haben, das zwar komplizierter als das erste ist, aber die Wirklichkeit getreuer darstellt.

§ 4. — Über die Kritik physikalischer Experimente und den Unterschied der zwischen ihr und der Prüfung gewöhnlicher Aussagen besteht.

Da ein physikalisches Experiment ein ganz anderes Ding ist, als die einfache Konstatierung einer Tatsache, begreift man leicht, daß die Sicherheit desselben von ganz anderer Größenordnung ist als die einer bloß sinnlich konstatierten Tatsache. Ebenso versteht man, daß diese Sicherheiten, die von Natur aus so verschieden sind, nach ganz verschiedenen Methoden eingeschätzt werden.

Wenn ein aufrichtiger Zeuge, dessen Kopf soweit klar ist, daß er nicht das Spiel seiner Phantasie mit den Wahrnehmungen vermengt, der die Sprache, deren er sich bedient, genügend versteht, um seine Gedanken klar ausdrücken zu können, behauptet, eine Tatsache konstatiert zu haben, so ist diese Tatsache gewiß. Wenn ich Ihnen erkläre, daß ich an dem Tag, zu dieser Stunde, in dieser Straße der Stadt ein weißes Pferd gesehen habe, so werden Sie, falls Sie nicht Gründe haben, anzunehmen, daß ich lüge oder an Halluzinationen leide, glauben, daß sich an diesem Tage, zu dieser Stunde, in dieser Straße ein weißes Pferd befand.

Das Zutrauen, das man einem Satze, den ein Physiker als Resultat seines Experimentes ausspricht, entgegenbringen muß, ist nicht von derselben Art. Wenn ein Physiker sich darauf beschränken würde, uns die Tatsachen aufzuzählen, die er gesehen, die er wirklich mit seinen Augen gesehen hat, so würde sein Zeugnis nach den allgemeinen Regeln, die dazu dienen, den Grad der Glaubwürdigkeit der Aussage eines Menschen zu bestimmen, geprüft werden müssen. Wenn der Physiker vertrauenswürdig befunden würde — und ich glaube, das wäre der gewöhnliche Fall — müßte seine Aussage als Ausdruck der Wahrheit aufgefaßt werden.

Aber nochmals, das was der Physiker als Resultat eines Experimentes ausspricht, ist nicht ein Bericht über konstatierte Tatsachen, es ist die Interpretation dieser Tatsachen, es ist ihre Versetzung in eine ideale, abstrakte, symbolische Welt, die

durch die Theorie, die er als gültig betrachtet, geschaffen wurde.

Wenn wir daher die Aussage des Physikers den Regeln unterworfen haben, die den Grad der Zuverlässigkeit bestimmen, den die Erzählung eines Zeugen verdient, haben wir erst einen Teil und zwar den leichtesten Teil der Kritik, die den Wert des Experimentes bestimmt, ausgeführt.

In erster Linie müssen wir mit großer Sorgsamkeit die Theorien kennen lernen, die der Physiker als gültig betrachtet und die er zur Interpretation der von ihm konstatierten Tatsachen benützte. Würden wir der Kenntnis dieser Theorien ermangeln, so wäre es uns unmöglich den Sinn zu erfassen, den er seinen eigenen Aussagen zuschreibt. Dieser Physiker wäre für uns, was ein Zeuge für einen Richter ist, der dessen Sprache nicht versteht.

Wenn die Theorien, die dieser Physiker als gültig betrachtet, dieselben sind, die wir anerkennen, wenn wir darüber übereingekommen sind, dieselben Regeln bei der Interpretation der gleichen Erscheinungen zu befolgen, so sprechen wir in der gleichen Sprache und wir können uns verstehen. Aber es ist nicht immer so; es ist nicht so, wenn wir die Experimente eines Physikers diskutieren, der nicht unserer Schule angehört; es ist vor allem nicht so, wenn wir die Experimente eines Physikers diskutieren, den fünfzig Jahre, ein Jahrhundert, zwei Jahrhunderte von uns trennen. Es ist dann nötig eine Verbindung zwischen den theoretischen Gedanken des Autors, den wir studieren, und den unsrigen herzustellen. Es ist nötig, von neuem mit Hilfe der Symbole, deren wir uns bedienen, das was er mit Hilfe der von ihm verwendeten Symbole interpretierte, zu interpretieren. Wenn wir dies erreichen, so wird die Diskussion seines Experimentes möglich. Dieses Experiment wird eine Zeugenaussage sein, die in einer uns fremden Sprache abgegeben wurde, aber in einer Sprache, deren Vokabularium wir besitzen. Wir können sie übersetzen und sie einer Prüfung unterziehen.

Zum Beispiel hat Newton gewisse Beobachtungen über Farbenringe gemacht. Diese Beobachtungen interpretierte er

nach der von ihm geschaffenen Emissionstheorie. Er interpretierte sie, indem er für die leuchtenden Partikeln jeder Farbe den Abstand zwischen einer Anwandlung leichter Reflexion und einer Anwandlung leichter Transmission angab. Als Young und Fresnel eines Tages die Undulationstheorie wieder zur Geltung brachten und durch sie die Emissionstheorie ersetzten, war es ihnen möglich, gewisse Elemente der neuen Theorie mit gewissen Elementen der alten in Verbindung zu bringen. Sie sahen im besonderen, daß der Abstand zwischen einer Anwandlung leichter Reflexion und einer Anwandlung leichter Transmission dem vierten Teil dessen entsprach, was die neue Theorie als Wellenlänge bezeichnete. Dank dieser Bemerkung konnten die Resultate der Versuche Newtons in die Sprache der Wellenlehre übersetzt werden. Die Zahlen, die Newton erhalten hatte, ergaben mit vier multipliziert die Wellenlängen der verschiedenen Farben.

Ebenso hatte Biot eine sehr große Zahl genauer Experimente über die Polarisation des Lichtes ausgeführt, die er auf Grund der Emissionstheorie interpretiert hatte. Fresnel konnte sie in die Sprache der Wellenlehre übersetzen und sie zur Kontrolle dieser Theorie verwenden.

Wenn wir dagegen keine zureichenden Aufschlüsse über die theoretischen Gedanken des Physikers, dessen Experiment wir diskutieren, erlangen können, wenn wir nicht zur Aufstellung einer Beziehung zwischen den Symbolen, die er verwendete und den Symbolen, die uns die von uns angenommenen Theorien liefern, gelangen, werden die Sätze, in denen dieser Physiker die Resultate seiner Experimente ausgesprochen hat, für uns weder wahr noch falsch sein; sie werden jeden Sinnes ermangeln, sie werden tote Buchstaben sein; sie werden in unseren Augen ebensoviel bedeuten, wie die etruskischen oder ligurischen Inschriften in den Augen der Inschriftenkenner: Dokumente, die in einer Sprache geschrieben sind, die wir nicht lesen können. Wie viele Beobachtungen, die durch frühere Physiker gesammelt wurden, sind so für immer verloren! Diese Forscher haben es unterlassen, uns von den Methoden, die ihnen zur Interpretation der Tatsachen dienten, Kenntnis zu

geben. Es ist uns unmöglich, ihre Interpretationen in unsere Theorien zu übertragen, da sie ihre Ideen in Zeichen ausgedrückt haben, zu denen uns der Schlüssel fehlt.

Diese Grundregeln werden vielleicht als naiv erscheinen und man wird in Erstaunen geraten, daß wir uns bei ihnen aufhalten. Wenn jedoch diese Regeln banal sind, dann ist es noch banaler, sie außer acht zu lassen. Wie viele wissenschaftliche Diskussionen gibt es aber, in denen jeder der beiden Opponenten seinen Gegner durch das unwiderlegliche Zeugnis der Tatsachen zu vernichten meint. Man hält einander widersprechende Beobachtungen entgegen. Der Widerspruch liegt nicht in der Wirklichkeit, die immer im Einklang mit sich selbst ist, sondern vielmehr in den Theorien, durch die die beiden Gegner diese Wirklichkeit ausdrücken. Wie viel Sätze gibt es in den Schriften unserer Vorfahren, die als ungeheuerliche Irrtümer betrachtet werden. Man würde sie vielleicht als große Wahrheiten feiern, wenn man von den Theorien Kenntnis erlangen könnte, die diesen Sätzen ihren wahren Sinn geben, wenn man sich bemühte, sie in die Sprache der heute verkündeten Theorien zu übersetzen.

Nehmen wir an, wir hätten die Übereinstimmung zwischen den Theorien, die ein Experimentator als zulässig betrachtet und denen, die wir für richtig halten, konstatiert. Es ist sehr wohl möglich, daß wir uns die Urteile, in denen er die Resultate seiner Experimente ausspricht, ohne weiteres zu eigen machen. Es ist dann nötig zu prüfen, ob er bei der Interpretation der beobachteten Tatsachen genau die Regeln angewendet hat, die durch die Theorien, die wir mit ihm gemeinsam haben, vorgezeichnet sind. Manchmal werden wir konstatieren, daß der Experimentator nicht allen berechtigten Ansprüchen genügt habe. Bei der Anwendung der Theorien kann er einen Fehler in der Überlegung oder in der Rechnung gemacht haben. In diesem Falle muß die Überlegung erneuert oder die Rechnung wieder ausgeführt werden. Das Resultat des Experimentes muß modifiziert, die erhaltene Zahl durch eine andere ersetzt werden.

Die Ausführung des Experimentes bestand in einer fortwährenden Nebeneinanderstellung zweier Apparate: des wirklichen Apparates, mit dem der Beobachter manipulierte und des idealen schematischen Apparates, der ihm in Gedanken vorschwebte. Den Vergleich dieser beiden Apparate müssen wir wieder aufnehmen, um beide genau kennen zu lernen. Vom zweiten können wir eine entsprechende Kenntnis haben, da er durch mathematische Symbole und Formeln definiert ist. Beim ersten ist dies nicht in gleicher Weise der Fall. Wir müssen uns einen möglichst genauen Begriff von ihm machen nach der Beschreibung, die der Experimentator aufgestellt hat. Ist diese Beschreibung zureichend? Liefert sie uns alle Aufschlüsse, die uns nötig sein können? Wurden der Zustand der studierten Körper, der Grad ihrer chemischen Reinheit, die Lage, in der sie sich befanden, die störenden Einflüsse, denen sie ausgesetzt sein konnten, die tausend Umstände, die auf das Resultat des Experimentes einzuwirken vermochten, wurden sie alle mit einer Genauigkeit, die nichts zu wünschen übrig läßt, bestimmt?

Wenn wir einmal alle diese Fragen beantwortet haben, können wir prüfen, bis zu welchem Punkt der schematische Apparat ein ähnliches Bild des konkreten Apparates gibt. Wir können untersuchen, ob es nicht möglich gewesen wäre, diese Ähnlichkeit durch Komplikation der Definition des idealen Apparates noch mehr zu steigern. Wir können uns fragen, ob man alle systematischen Fehlerquellen von irgend welcher Bedeutung eliminiert, ob man alle wünschenswerten Korrektionen ausgeführt habe.

Der Experimentator habe bei der Interpretation seiner Beobachtungen Theorien angewendet, die wir auch akzeptieren; er habe bei der Ausführung dieser Interpretation die Regeln, die diese Theorien vorschreiben, korrekt angewendet; er habe den Apparat, den er gebraucht, genau studiert und beschrieben; er habe die systematischen Fehlerquellen eliminiert oder deren Einflüsse korrigiert; das ist noch nicht genug, damit wir das Resultat seines Versuches akzeptieren können. Die abstrakten und mathematischen Sätze, die die Theorien

mit den beobachteten Tatsachen in Verbindung bringen, sind, wie wir gesagt haben, nicht vollkommen bestimmt; denselben Tatsachen können eine Unzahl verschiedener Sätze entsprechen, denselben Maßgrößen eine Unzahl von Auswertungen, die durch verschiedene Zahlen ausgedrückt werden. Der Grad der Unbestimmtheit des abstrakten mathematischen Satzes, durch den das Resultat eines Experimentes ausgedrückt wird, ist das, was man die Fehlergrenze dieses Experimentes nennt. Wir müssen die Fehlergrenze des Experimentes, das wir prüfen, kennen. Wenn der Beobachter sie angegeben hat, müssen wir das Verfahren, durch das er sie ausgewertet hat, kontrollieren; wenn er sie nicht angegeben hat, müssen wir sie auf Grund eigener Diskussion bestimmen. Eine verwickelte und außerordentlich heikle Operation! Die Bestimmung der Fehlergrenze eines Experimentes erfordert in erster Linie die Feststellung der Schärfe der Sinne des Beobachters. Die Astronomen versuchen dieselbe in der mathematischen Form der persönlichen Gleichung festzulegen. Aber diese Gleichung hat recht wenig Anteil an der unabänderlichen Konstanz der Geometrie, denn sie ist von einer Migräne oder einer schlechten Verdauung abhängig. Diese Bestimmung erfordert in zweiter Linie die Auswertung der systematischen Fehler, die man nicht korrigieren konnte. Aber auch wenn man eine möglichst vollständige Aufzählung dieser Fehlerquellen vorgenommen hat, ist man sicher, ungleich mehr übersehen zu haben, als man aufgezählt hat, denn die Verwickeltheit der konkreten Realität ist so groß, daß wir sie nicht meistern können. Diese systematischen Fehler faßt man alle unter dem Namen zufällige Fehler zusammen. Die Unkenntnis der Umstände, die sie bestimmen, macht es unmöglich, sie zu korrigieren. Die Mathematiker haben den Spielraum, den ihnen diese Unkenntnis läßt, benützt, um in Bezug auf diese Fehler Hypothesen aufzustellen, die ihnen erlauben, mit Hilfe gewisser mathematischer Operationen den Einfluß derselben abzuschwächen. Aber die Theorie der zufälligen Fehler ist nur ebensoviel wert wie diese Hypothesen. Und was weiß man über den Wert dieser Hypothesen, solange man nichts von

den Fehlern weiß, die sie behandeln, solange man über deren Quellen in Unkenntnis ist?

Die Bestimmung der Fehlergrenze eines Experimentes ist daher eine außerordentlich verwickelte Arbeit. Oft ist es schwer, dabei eine vollständig logische Ordnung einzuhalten. Die Überlegung muß dann oft jener seltenen und subtilen Eigenschaft, jener Art von Instinkt oder Witterung Platz machen, die experimenteller Sinn genannt wird — die viel eher ein Attribut des Scharfsinns als des mathematischen Denkens ist.

Die einfache Darstellung der Regeln, die bei der Prüfung eines physikalischen Experimentes bei seiner Anerkennung oder Verwerfung zur Geltung kommen, genügt, um folgende wesentliche Wahrheit deutlich zu machen: Das Rusultat eines physikalischen Experimentes besitzt nicht eine Sicherheit gleicher Ordnung wie eine nach nichtwissenschaftlichen Methoden von einem an Körper und Geist gesunden Menschen durch einfaches Anschauen oder einfaches Antasten konstatierte Tatsache; diese Sicherheit, die weniger unmittelbar, die Diskussionen unterworfen ist, von denen die gewöhnliche Aussage unberührt bleibt, ist immer vom Vertrauen abhängig, das eine ganze Gruppe von Theorien einflößt.

§ 5. — Das physikalische Experiment ist weniger sicher, aber genauer und detaillierter, als die nichtwissenschaftliche Konstatierung einer Tatsache.

Der Laie glaubt, daß das Resultat eines wissenschaftlichen Experimentes sich von der gewöhnlichen Art der Beobachtung durch einen höheren Grad der Sicherheit unterscheide. Er täuscht sich, denn die Darstellung eines physikalischen Experimentes hat nicht die unmittelbare und leicht kontrollierbare Sicherheit einer gewöhnlichen, nichtwissenschaftlichen Aussage. Weniger sicher als letztere übertrifft sie sie an Zahl und Genauigkeit der Details, die sie uns kennen lehrt, und darin besteht ihre wirkliche und wesentliche Überlegenheit.

Die gewöhnliche Aussage, die uns die Konstatierung einer Tatsache nach den Verfahren des gewöhnlichen Verstandes,

nicht aber nach den Methoden der Wissenschaft liefert, kann nur unter der Bedingung sicher sein, daß sie nicht detailliert, daß sie nicht genau ist, sondern die Tatsache nur im Groben, nur nach dem, was an ihr am auffallendsten ist, betrachtet. In dieser Straße der Stadt habe ich zu dieser Stunde ein weißes Pferd gesehen; dies kann ich mit Sicherheit behaupten; vielleicht kann ich dieser allgemeinen Behauptung noch irgend eine Einzelheit, die meine Aufmerksamkeit erregt hat, mit Ausschluß anderer Details hinzufügen: Etwas Ungewöhnliches in der Haltung des Pferdes, ein grell gefärbter Teil seines Geschirres. Aber fragen Sie mich nicht weiter; meine Erinnerungen werden sich verwirren, meine Antworten werden unbestimmt werden; bald werde ich gezwungen sein, Ihnen zu sagen: Ich weiß es nicht. Ausnahmen vorbehalten ist die gewöhnliche Aussage um so verläßlicher, je weniger präzise sie ist, je weniger sie analysiert, je mehr sie sich an die gröbsten und hervorstechendsten Beobachtungen hält.

Ganz anders ist der Bericht über ein physikalisches Experiment. Er begnügt sich nicht, uns eine Erscheinung im Groben kennen zu lehren, er will sie analysieren, er will uns über das geringste Detail, über das speziellste Merkmal unterrichten, indem er genau die Stellung und relative Bedeutung jedes Details, jedes Merkmals kennzeichnet. Er will uns diese Aufschlüsse in solcher Art geben, daß wenn es uns nützlich erscheint, wir diese Erscheinung, über die er uns berichtet, oder wenigstens eine theoretisch äquivalente Erscheinung wieder herstellen können. Die Verwirklichung dieser Absicht würde über das Vermögen der wissenschaftlichen Experimentierkunst hinausgehen, ebenso wie sie die Kräfte der gewöhnlichen Beobachtung übersteigt, wenn die eine nicht über bessere Waffen verfügte als die andere. Die Zahl und Genauigkeit der Details, die jede Erscheinung zusammensetzen oder begleiten, würde die Vorstellungskraft in Verwirrung bringen, würde das Gedächtnis überlasten und in nichts der einfachen Beschreibung nachstehen, wenn der Physiker nicht in seinem Dienste ein wunderbares Mittel der Klassifikation und Darstellung, ein symbolisches, erstaunlich klares und kon-

zises Bild hätte, nämlich die mathematische Theorie, wenn er nicht zur Kennzeichnung des relativen Einflusses jeder Einzelheit über ein genaues und schnelles Bestimmungsverfahren verfügte, das ihm in der numerischen Auswertung, dem Maß gegeben ist. Wenn jemand auf Grund einer Wette es unternehmen wollte, ein Experiment der heutigen Physik unter Ausschluß aller theoretischen Ausdrücke zu beschreiben, wenn er zum Beispiel versuchen würde, die Experimente von Regnault über die Kompressibilität der Gase darzulegen und dabei aus seinem Bericht alle abstrakten und symbolischen Ausdrücke, die durch die physikalischen Theorien eingeführt sind, die Worte: Druck, Temperatur, Dichte, Schwerkraft, optische Achse eines Fernrohrs etc. zu entfernen, würde er sehen, daß die Darstellung der Experimente allein einen ganzen Band ausfüllen würde, der die verwirrteste, unlesbarste, unverständlichste Erzählung enthielte, die man sich vorstellen kann.

Wenn daher die theoretische Interpretation den Resultaten des physikalischen Experimentes die unmittelbare Sicherheit nimmt, die das durch die gewöhnliche Beobachtung Gegebene besitzt, so ermöglicht sie zum Ersatz dafür dem wissenschaftlichen Experimente viel weiter als dem gewöhnlichen Verstand in der detaillierten Analyse der Erscheinungen vorzudringen, von ihnen eine Beschreibung zu geben, deren Genauigkeit erheblich die der gewöhnlichen Sprache übersteigt.

Neuntes Kapitel.
Das physikalische Gesetz.

§ 1. — Die physikalischen Gesetze sind symbolische Beziehungen.

In derselben Art, wie die Gesetze des gewöhnlichen Verstandes auf der Beobachtung der Tatsachen durch die natürlichen Hilfsmittel des Menschen gegründet sind, beruhen die Gesetze der Physik auf den Resultaten der physikalischen Experimente. Es ist ohne weiteres klar, daß die tiefen Differenzen, die zwischen der nichtwissenschaftlichen Konstatierung einer

Tatsache und dem Resultat eines physikalischen Experimentes bestehen, in gleicher Weise den Unterschied zwischen den Gesetzen des gewöhnlichen Verstandes und den Gesetzen der Physik bilden werden. Auch wird beinahe alles, was wir von den physikalischen Experimenten ausgesagt haben, auf die Gesetze, die diese Wissenschaft ausspricht, ausgedehnt werden können

Nehmen wir eines der einfachsten und sichersten Gesetze des gewöhnlichen Verstandes: Jeder Mensch ist sterblich. Dieses Gesetz verbindet sicherlich abstrakte Ausdrücke untereinander, den abstrakten Begriff des Menschen im allgemeinen und nicht den konkreten Begriff dieses oder jenes Menschen im besonderen; den abstrakten Begriff des Todes und nicht den konkreten Begriff dieser oder jener Form des Todes. In der Tat kann es nur unter der Bedingung, daß es abstrakte Ausdrücke verbindet, allgemein sein. Aber diese Abstraktionen sind keineswegs theoretische Symbole. Sie drücken einfach aus, was allen besonderen Fällen, auf die das Gesetz angewendet wird, gemeinsam ist. Auch finden wir in jedem dieser einzelnen Fälle, auf die wir das Gesetz anwenden, konkrete Objekte, in denen diese abstrakten Begriffe realisiert sind. Jedesmal, wenn wir konstatieren, daß jeder Mensch sterblich ist, befinden wir uns einem bestimmten, besonderen Menschen gegenüber, der den allgemeinen Begriff des Menschen verkörpert, einem bestimmten besonderen Tod, der den allgemeinen Begriff des Todes in sich enthält.

Nehmen wir noch ein anderes Gesetz, das von Herrn G. Milhaud[1]) als Beispiel zitiert wurde, als er jene Ideen entwickelte, die wir ein wenig früher geäußert hatten. Es ist dies ein Gesetz, dessen Gegenstand in das Gebiet der Physik gehört. Aber es behält die Form, die die Gesetze der Physik hatten, als dieser Wissenszweig noch in den Bereich des gewöhnlichen Verstandes gehörte und noch nicht die Würde einer verstandesmäßigen Wissenschaft erlangt hatte.

---

[1]) G. Milhaud: La Science rationelle (Revue de Métaphysique et de Morale, 4e année, 1896, p. 280). — Wiederabgedruckt in Le Rationnel, Paris 1898, p. 44.

Das Gesetz ist folgendes: Bevor man den Donner hört, sieht man den Blitz leuchten. Die Begriffe Donner und Blitz, die dieser Ausdruck verbindet, sind wohl abstrakte und allgemeine Begriffe, aber diese Abstraktionen sind so instinktiv, so natürlich aus der speziellen Erfahrung abgeleitet, daß wir aus der blendenden Helle und dem Rollen, das wir bei jedem Blitzschlag wahrnehmen, sofort die konkrete Form unserer Begriffe Blitz und Donner erkennen.

Bei den Gesetzen der Physik ist dies nicht mehr der Fall. Nehmen wir eines dieser Gesetze, das von Mariotte, und prüfen wir was es ausdrückt, ohne uns für den Augenblick um seine Genauigkeit zu kümmern. Bei konstanter Temperatur sind die von derselben Gasmasse eingenommenen Volumina umgekehrt proportional den Drucken, unter denen sie steht. Dies ist der Ausdruck des Mariotte'schen Gesetzes. Die Bezeichnungen, die in ihm auftreten, die Begriffe der Masse, der Temperatur und des Druckes sind noch abstrakte Begriffe. Aber diese Begriffe sind nicht nur abstrakt, sondern überdies symbolisch, und die Symbole, die sie bilden, erhalten nur dank der physikalischen Theorien einen Sinn. Stellen wir uns einen realen, konkreten Fall vor, auf den wir das Gesetz von Mariotte anwenden wollen. Wir haben es dann nicht mehr mit einer konkreten, bestimmten Temperatur, die den allgemeinen Begriff der Temperatur verwirklicht, sondern mit mehr oder minder warmem Gas zu tun; wir haben nicht mehr vor uns einen besonderen bestimmten Druck, der den allgemeinen Begriff des Druckes realisiert, sondern eine bestimmte Pumpe, auf die man in bestimmter Art gedrückt hat. Sicherlich entspricht diesem mehr oder minder warmen Gas eine bestimmte Temperatur, diesem auf die Pumpe ausgeübten Kraftaufwand ein bestimmter Druck. Aber diese Beziehung ist die einer bezeichneten Sache zu dem Zeichen, das es ersetzt, einer Realität zu dem Symbol, das es versinnbildlicht. Diese Beziehung ist keineswegs unmittelbar. Sie wird mit Hilfe von Instrumenten durch das oft recht lange und recht komplizierte Mittel von Maßen hergestellt. Um diesem mehr oder minder warmen Gas eine bestimmte Temperatur zuzuschreiben, muß man zum Thermometer greifen.

Um in der Form des Druckes die an der Pumpe aufgewendete Arbeit auszuwerten, müssen wir uns des Manometers bedienen. Der Gebrauch des Thermometers, wie der des Manometers setzen aber, wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, den Gebrauch physikalischer Theorien voraus.

Da die abstrakten Ausdrücke, von denen ein Gesetz des gewöhnlichen Verstandes handelt, nichts anderes als das allgemeine der konkreten Objekte, wie sie unsere Sinne kennen, sind, vollzieht sich der Übergang vom Konkreten zum Abstrakten durch eine Operation, die so notwendig, so spontan ist, daß sie unbewußt bleibt. Befinde ich mich einem bestimmten Menschen, einem bestimmten Fall des Todes gegenüber, so beziehe ich sie unmittelbar auf den allgemeinen Begriff des Menschen, auf den allgemeinen Begriff des Todes. Diese instinktive unwillkürliche Operation liefert uns nicht analysierte allgemeine Begriffe, Abstraktionen, die sozusagen en bloc genommen werden. Ohne Zweifel kann ein Denker jene allgemeinen und abstrakten Begriffe analysieren, er kann sich fragen, was ist der Mensch, was ist der Tod, er kann in den tiefen und ganzen Sinn dieser Worte einzudringen versuchen. Diese Arbeit wird ihn dazu führen, die Berechtigung des Gesetzes besser zu erfassen, aber diese Arbeit ist nicht nötig, um das Gesetz zu verstehen. Für sein Verständnis genügt es, die Ausdrücke, die es verbindet, in ihrem gewöhnlichen Sinn zu nehmen, so daß dieses Gesetz für alle, ob sie nun Philosophen seien oder nicht, klar ist.

Die symbolischen Ausdrücke, die ein physikalisches Gesetz verbindet, sind nicht derartige Abstraktionen, die spontan aus der konkreten Realität hervorgehen; sie sind Abstraktionen, die aus einer langen, komplizierten, bewußten hundertjährigen Arbeit, die die physikalischen Theorien schuf, hervorgingen. Es ist unmöglich das Gesetz zu verstehen, unmöglich es anzuwenden, wenn man diese Arbeit nicht geleistet, wenn man die physikalischen Theorien nicht kennt.

Je nachdem, ob man eine Theorie annimmt oder nicht, ändern dieselben Worte, die in dem Ausdruck eines physikalischen Gesetzes stehen, ihren Sinn, so daß es von einem

Physiker, der eine gewisse Theorie für zulässig hält, angenommen, von einem anderen Physiker, der Anhänger einer anderen Theorie ist, verworfen werden kann.

Nehmen wir einen Bauern, der weder den Begriff Mensch noch den Begriff Tod jemals analysiert, und einen Metaphysiker, der sich sein Leben lang mit dieser Analyse beschäftigt hat, oder nehmen wir zwei Philosophen, die bei der Analyse dieser Begriffe verschiedene, unvereinbare Definitionen erhielten, für sie alle ist das Gesetz: Jeder Mensch ist sterblich gleich klar und gleich wahr. Ebenso besitzt das Gesetz: Bevor man den Donner hört, sieht man den Blitz leuchten, für den Physiker, der die Gesetze der Funkenentladungen in ihrer ganzen Tiefe kennt, dieselbe Klarheit und dieselbe Sicherheit wie für einen Mann aus der römischen Plebs, der in dem Blitzschlag ein Zeichen des Zornes des Jupiter Capitolinus sah.

Betrachten wir im Gegensatz dazu folgendes physikalisches Gesetz: Alle Gase komprimieren und dilatieren sich in derselben Weise, und fragen wir verschiedene Physiker, ob der Joddampf diesem Gesetz folge oder nicht. Ein Physiker vertritt Theorien, nach denen der Joddampf ein einfaches Gas ist. Er leitet also aus vorstehendem Gesetze folgende Konsequenz ab: Die Dichte des Joddampfes bezogen auf Luft ist eine konstante. Das Experiment zeigt nun, daß die Dichte des Joddampfes bezogen auf Luft von der Temperatur und dem Druck abhängig ist. Unser Physiker schließt daher, daß der Joddampf dem angegebenen Gesetze nicht entspreche. Nach der Meinung eines anderen Physikers ist der Joddampf kein einfaches Gas, sondern eine Mischung zweier Gase, von denen das eine ein Polymeres des anderen ist und die sich ineinander umwandeln können. Demzufolge erfordert das ausgesprochene Gesetz nicht mehr, daß die Dichte des Joddampfes bezogen auf Luft konstant sei, sondern daß sie mit der Temperatur und dem Druck gemäß einer gewissen Formel, die J. Willard-Gibbs aufgestellt hat, variiere. Diese Formel stellt tatsächlich die Resultate der experimentellen Bestimmungen dar. Unser zweiter Physiker schließt daraus, daß der Joddampf keine Ausnahme von der Regel bilde, nach der sich alle Gase in

gleicher Weise komprimieren und dilatieren. So haben unsere beiden Physiker vollständig verschiedene Meinungen betreffs eines Gesetzes, das sie beide in der gleichen Form aussprechen. Der eine findet, daß dieses Gesetz durch eine gewisse Tatsache außer Kraft gesetzt, der andere, daß es durch die gleiche Tatsache bestätigt werde. Das rührt daher, daß die verschiedenen Theorien, auf die sie sich berufen, nicht in derselben Weise den Sinn der Worte: einfaches Gas festsetzen. So geschieht es, daß indem sie beide dieselben Worte aussprechen, sie zwei verschiedene Lehrsätze meinen. Um diesen Ausdruck mit der Wirklichkeit zu vergleichen, führen sie Rechnungen aus, die so verschieden sind, daß der eine finden kann, das Gesetz werde durch die Tatsachen bestätigt, während es für den anderen durch dieselben widerlegt wird. Daraus geht deutlich folgende Wahrheit hervor: Ein physikalisches Gesetz ist eine symbolische Beziehung, deren Anwendung auf die konkrete Wirklichkeit erfordert, daß man eine ganze Gruppe von Theorien kenne und akzeptiere.

§ 2. — Ein physikalisches Gesetz ist genau gesprochen, weder richtig noch falsch, sondern angenähert.

Ein Gesetz des gewöhnlichen Verstandes ist ein einfaches allgemeines Urteil, das richtig oder falsch ist. Nehmen wir zum Beispiel folgendes Gesetz, das durch die gewöhnliche Beobachtung festgestellt wird: In Paris geht die Sonne jeden Tag im Osten auf, steigt am Himmel empor, senkt sich wieder und geht im Westen unter. Hier haben wir ein richtiges Gesetz, das ohne Bedingung, ohne Einschränkung gilt. Nehmen wir im Gegensatz dazu folgende Aussage: Der Mond ist stets voll. Hier haben wir ein falsches Gesetz. Wenn die Richtigkeit eines Gesetzes des gewöhnlichen Verstandes in Frage gezogen wird, kann man mit ja oder nein antworten.

Das gilt nicht mehr für die Gesetze, die die physikalische Wissenschaft in ihrer vollen Entfaltung in der Form mathematischer Lehrsätze ausspricht. Ein derartiges Gesetz ist immer symbolisch. Ein Symbol ist nun genau gesprochen

weder richtig noch falsch. Es ist mehr oder weniger gut gewählt, um die Wirklichkeit, die es darstellt, zu bezeichnen, es stellt sie in einer mehr oder minder genauen, in einer mehr oder minder detaillierten Art dar. Aber in ihrer Anwendung auf ein Symbol verlieren die Worte Wahrheit und Irrtum allen Sinn. So wird auch der Logiker, der auf den strengen Sinn der Worte achtet, auf die Frage, ob ein bestimmtes Gesetz der Physik richtig oder falsch sei, antworten müssen: Ich begreife Ihre Frage nicht. Kommentieren wir diese Antwort, die paradox zu sein scheint, aber die der verstehen muß, der wissen will, was die Physik bedeutet.

Einer gegebenen Tatsache läßt die experimentelle Methode, wie sie in der Physik gehandhabt wird, nicht nur ein einziges symbolisches Urteil, sondern eine Unzahl symbolischer Urteile entsprechen. Der Grad der Unbestimmtheit des Symboles ist die Fehlergrenze des in Frage stehenden Experimentes. Nehmen wir eine Reihe analoger Tatsachen. Für den Physiker bedeutet die Auffindung des Gesetzes dieser Tatsachen die Auffindung einer Formel, die die symbolische Darstellung einer jeden dieser Tatsachen enthält. Die Unbestimmtheit des Symboles, die jeder Tatsache entspricht, bringt daher die Unbestimmtheit der Formel, die alle diese Symbole umfassen soll, mit sich. Der gleichen Gruppe von Tatsachen kann man eine Unzahl verschiedener Formeln, eine Unzahl verschiedener physikalischer Gesetze entsprechen lassen. Jedes dieser Gesetze muß, um akzeptiert zu werden, einer jeden Tatsache nicht das Symbol, sondern irgend eines der Symbole aus der unendlichen Zahl, die diese Tatsache darstellen können, entsprechen lassen. Das meint man, wenn man erklärt, daß die Gesetze der Physik nur angenähert gelten.

Stellen wir uns zum Beispiel vor, daß wir uns nicht mit den Lehren, die uns jenes Gesetz des gewöhnlichen Verstandes: In Paris geht die Sonne jeden Tag im Osten auf, steigt am Himmel empor, senkt sich wieder und geht im Westen unter, liefert, zufrieden geben können. Wir wenden uns an die physikalischen Wissenschaften, um ein genaueres Gesetz der in Paris gesehenen Sonnenbewegung zu erhalten, ein Ge-

setz, das dem Pariser Beobachter angibt, welche Lage die Sonne in jedem Augenblick am Himmel einnimmt. Die physikalischen Wissenschaften machen bei der Lösung dieses Problems nicht von wahrnehmbaren Realitäten Gebrauch, von der Sonne, wie wir sie am Himmel glänzen sehen, sondern von Symbolen, durch die die Theorien diese Realitäten darstellen. Sie ersetzen die wirkliche Sonne, trotz der Unregelmäßigkeiten ihrer Oberfläche, trotz der riesigen Protuberanzen durch eine vollkommene geometrische Kugel. Es ist die Lage des Zentrums dieser idealen Kugel, die sie zu bestimmen versuchen. Oder vielmehr suchen sie die Lage zu bestimmen, die dieser Punkt einnehmen würde, wenn die astronomische Refraktion nicht die Sonnenstrahlen ablenken, wenn die jährliche Aberration nicht die scheinbare Lage der Gestirne ändern würde. Es ist daher wohl ein Symbol, durch das sie die einfache, sinnliche Realität, die von uns konstatiert wird, die glänzende Scheibe, auf die unser Fernrohr visiert, ersetzen. Um das Symbol mit der Realität in Verbindung zu bringen, muß man verwickelte Messungen ausführen, muß man den Sonnenrand mit dem Faden in einem Mikrometer zur Koinzidenz bringen, muß man viele Ablesungen an geteilten Kreisen vornehmen, die wieder verschiedenen Korrektionen unterworfen werden müssen. Man muß auch lange und verwickelte Rechnungen ausführen, deren Berechtigung aus den als zulässig erkannten Theorien, aus der Theorie der Aberration, aus der Theorie der sphärischen Refraktion folgt.

Dieser Punkt, der symbolisch als Sonnenzentrum bezeichnet wird, ist noch nicht das, was unseren Formulierungen zugänglich ist. Was ihnen zugänglich ist, sind die Koordinaten dieses Punktes, seine Länge und seine Breite. Der Sinn dieser Koordinaten kann nur verstanden werden, wenn man die Gesetze der Kosmographie kennt. Ihre Größen bezeichnen am Himmel einen Punkt, auf den man mit dem Finger weisen, auf den man mit dem Fernrohr visieren kann, nur auf Grund einer ganzen Gruppe von vorher vorgenommenen Bestimmungen: Der Bestimmung des Meridians des Ortes, seiner geographischen Koordinaten etc.

Kann man nun einer bestimmten Lage der Sonnenscheibe nur einen einzigen Wert der Länge und nur einen einzigen Wert der Breite des Sonnenzentrums entsprechen lassen, wobei vorausgesetzt ist, daß die Korrektionen der Aberration und Refraktion ausgeführt seien? Keineswegs. Die optische Leistungsfähigkeit des Instrumentes, das uns zum Visieren der Sonne dient, ist begrenzt. Die Empfindlichkeit der verschiedenen Operationen, der verschiedenen Ablesungen, die unser Experiment erfordert, ist begrenzt. Ob die Sonnenscheibe in dieser oder jener Lage sei, können wir, wenn der Abstand genügend klein ist, nicht wahrnehmen. Nehmen wir an, daß wir die Koordinaten eines bestimmten Punktes der Himmelskugel nur mit einer Genauigkeit von 1′ bestimmen können. Es wird uns dann genügen, um die Lage der Sonne in einem gegebenen Augenblick zu bestimmen, die Länge und Breite des Sonnenzentrums auf 1′ genau zu kennen. Wir können daher, um den Gang der Sonne darzustellen, obwohl das Gestirn in jedem Augenblick nur eine einzige Lage einnimmt, ihrer Länge und Breite in jedem Augenblick nicht nur einen einzigen, sondern eine Unzahl von Werten zuschreiben. Es dürfen nur zwei für den gleichen Augenblick zulässige Werte der Länge und ebenso zwei der Breite um nicht mehr als 1′ differieren.

Suchen wir nun das Bewegungsgesetz der Sonne zu finden, d. h. zwei Formeln, die uns ermöglichen, in jedem Augenblick den Wert der Länge und den der Breite des Sonnenzentrums zu berechnen. Ist es nicht klar, daß wir, um die Änderung der Länge als Funktion der Zeit darzustellen, nicht nur eine einzige Formel, sondern eine Unzahl verschiedener Formeln anwenden können, vorausgesetzt, daß diese Formeln uns zu Werten der Länge führen, die um weniger als 1′ differieren? Ist es nicht klar, daß derselbe Fall bei der Breite eintreten wird? Wir können daher unsere Beobachtungen der Sonnenbewegung gleichgut durch eine Unzahl verschiedener Gesetze darstellen. Diese verschiedenen Gesetze werden durch Gleichungen ausgedrückt, die die Algebra als unvereinbar ansieht. Wenn eine dieser Gleichungen durch sie verifiziert wird, kann keine andere es werden. Sie werden auf der Himmelskugel durch

verschiedene Kurven ausgedrückt werden und es wäre absurd zu sagen, daß derselbe Punkt in der gleichen Zeit zwei dieser Kurven beschreibe. Für den Physiker sind indessen alle diese Gesetze gleichermaßen akzeptabel, denn sie bestimmen alle die Lage des Gestirnes mit einer Annäherung, die die der Beobachtung übersteigt. Der Physiker hat nicht das Recht zu sagen, daß eines dieser Gesetze unter Ausschluß der anderen richtig sei.

Ohne Zweifel hat der Physiker das Recht, unter diesen Gesetzen zu wählen, und im allgemeinen wird er dies auch tun. Aber die Motive, die ihn bei seiner Wahl leiten, sind nicht von derselben Art, drängen sich ihm nicht mit derselben gebieterischen Notwendigkeit auf, wie die, die ihn zwingen, die Wahrheit dem Irrtum vorzuziehen. Er wird eine gewisse Formel wählen, weil sie einfacher als die anderen ist. Die Schwäche unseres Geistes zwingt uns, Betrachtungen dieser Art eine große Wichtigkeit beizulegen. Es gab eine Zeit, wo die Physiker annahmen, daß der Verstand des Schöpfers unter derselben Schwäche leide, in der die Einfachheit der Naturgesetze als ein unbezweifelbares Dogma galt, in dessen Namen man jedes Gesetz, das durch eine zu verwickelte algebraische Gleichung ausgedrückt war, verwarf, in der im Gegenteil die Einfachheit einem Gesetze eine Sicherheit und Tragweite gab, die über die experimentelle Methode, die es geliefert, hinausgingen. Das drückte auch Laplace gelegentlich der Behandlung des von Huygens entdeckten Gesetzes der Doppelbrechung aus[1]: „Bis jetzt war dieses Gesetz nur ein Beobachtungsresultat, das der Wahrheit innerhalb der Fehlergrenzen, denen die genauesten Resultate unterworfen sind, nahekam. Jetzt läßt die Einfachheit des Wirkungsgesetzes, von dem es abhängt, es als strenges Gesetz erscheinen.“ Diese Zeit ist vorüber. Wir lassen uns durch den Reiz, den die einfachen Formeln auf uns ausüben, nicht verführen. Wir betrachten diesen Reiz nicht mehr als die Äußerung einer größeren Sicherheit.

[1]) Laplace: Exposition du système du monde, l. IV, c. XVIII: „De l'attraction moléculaire.“

Der Physiker wird vor allem ein Gesetz dann einem anderen vorziehen, wenn es sich aus den Theorien, die er für zulässig hält, ergibt. Er wird zum Beispiel von der Theorie der universellen Anziehung verlangen, daß sie ihm angebe, welche Formeln er unter allen, die die Bewegung der Sonne darstellen könnten, vorziehen soll. Aber die physikalischen Theorien sind nur ein Mittel, die angenäherten Gesetze, denen die Experimente unterworfen sind, zu klassifizieren und miteinander zu vereinigen. Die Theorien können daher nicht die Natur dieser experimentellen Gesetze modifizieren und ihnen absolute Wahrheit verschaffen.

So ist jedes physikalische Gesetz ein angenähertes Gesetz. Demzufolge kann es für den strengen Logiker weder richtig noch falsch sein. Jedes andere Gesetz, das dieselben Experimente mit derselben Genauigkeit darstellt, hat ebenso berechtigten Anspruch wie das erste als richtiges Gesetz, oder um es noch schärfer auszudrücken, als zulässiges Gesetz zu gelten.

§ 3. — Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch und relativ, weil es angenähert ist.

Das Charakteristikum eines Gesetzes besteht darin, daß es fest und absolut ist. Ein Lehrsatz ist nur deshalb ein Gesetz, weil er, wenn er heute richtig ist, es auch morgen sein wird, weil er, wenn er für einen richtig ist, es auch für andere ist. Würden wir nicht in einen Widerspruch geraten, wenn wir sagen, ein Gesetz sei provisorisch, es kann von dem einen angenommen, von dem anderen aber verworfen werden? Sicherlich ja, wenn man unter Gesetzen solche versteht, wie sie uns der gewöhnliche Verstand angibt, solche, von denen man im wahren Sinne des Wortes sagen kann, daß sie richtig sind; ein solches Gesetz kann nicht heute richtig und morgen falsch sein, es kann nicht richtig für dich und falsch für mich sein. Dagegen nein, wenn man unter Gesetzen diejenigen versteht, die die Physik in mathematischer Form ausdrückt. Ein derartiges Gesetz ist immer provisorisch. Das will nicht sagen, daß ein physikalisches Gesetz während einer gewissen

Zeit richtig und darauf falsch wird, denn es ist in jedem Augenblick weder richtig noch falsch. Es ist provisorisch, weil es die Tatsachen, auf die es angewendet wird, mit einer Annäherung darstellt, die den Physikern heute hinreichend erscheint, die ihnen aber eines Tages nicht mehr genügen wird. Ein derartiges Gesetz ist immer relativ, nicht weil es für einen Physiker richtig, für einen anderen falsch ist, sondern weil die Annäherung, die es besitzt, für den Gebrauch, den der eine Physiker von ihm machen will, ausreicht, nicht aber für den, den der andere im Auge hat.

Der Grad der Annäherung eines Experimentes ist, wie wir bemerkt haben, nichts festes. Er wächst in dem Maße, wie die Instrumente vollkommener werden, wie die Fehlerquellen eliminiert, oder durch genauere Korrektionen besser auswertbar werden. In dem Maße, wie die experimentellen Methoden fortschreiten, nimmt die Unbestimmtheit des abstrakten Symboles, das das physikalische Experiment mit der konkreten Tatsache in Beziehung bringt, ab. Viele symbolische Urteile, die in einer Epoche als gute Darstellungen einer bestimmten konkreten Tatsache angesehen wurden, werden in einer anderen Epoche nicht mehr für eine hinreichend genaue Kennzeichnung dieser Tatsache gehalten. Zum Beispiel werden die Astronomen eines gewissen Jahrhunderts für die Feststellung der Lage des Sonnenzentrums in einem gegebenen Augenblick alle Werte der Länge, die nicht um mehr als 1′ differieren, und ebenso alle Werte der Breite, die sich in den gleichen Grenzen halten, akzeptieren. Die Astronomen des folgenden Jahrhunderts werden Teleskope, deren optisches Leistungsvermögen viel größer, Kreise, deren Teilung viel vollkommener, Beobachtungsmethoden, die viel genauer und präziser sind, besitzen. Sie werden dann verlangen, daß die verschiedenen Bestimmungen der Länge des Sonnenzentrums in einem gegebenen Augenblick ebenso wie die verschiedenen Bestimmungen der Breite desselben Punktes im gleichen Augenblick sich auf 10″ nähern. Eine Unzahl von Bestimmungen, mit denen sich ihre Vorgänger begnügt hätten, werden von ihnen verworfen werden.

Im Maße, wie die Unbestimmtheit der Resultate des Experimentes kleiner wird, wird auch die Unbestimmtheit der Formeln, die dazu dienen, diese Resultate zu kondensieren, eingeschränkt. Ein Jahrhundert akzeptierte als Bewegungsgesetz der Sonne jede Gruppe von Formeln, die in jedem Augenblick die Koordinaten des Zentrums dieses Gestirnes auf eine Minute genau angab. Das folgende Jahrhundert legt jedem Bewegungsgesetz der Sonne die Bedingung auf, die Koordinaten des Sonnenzentrums bis auf 10″ anzugeben. Eine Unzahl von Gesetzen, die in dem ersteren Jahrhundert erhalten wurden, werden im letzteren verworfen werden.

Dieser provisorische Charakter der Gesetze der Physik zeigt sich jeden Augenblick, wenn man die Geschichte dieser Wissenschaft verfolgt. Für Dulong und Arago, sowie für ihre Zeitgenossen war das Mariottesche Gesetz eine zulässige Form des Gesetzes der Kompressibilität der Gase, weil es die Tatsachen des Experimentes mit Abweichungen darstellte, die kleiner blieben, als die möglichen Fehler der Beobachtungsmethoden, über die sie verfügten. Als Regnault die Apparate und experimentellen Methoden verbessert hatte, mußte das Mariottesche Gesetz verworfen werden. Die Abweichungen, die seine Angaben der Versuchsresultate aufwiesen, waren viel größer, als die Unsicherheiten, mit denen die neuen Apparate behaftet blieben.

Von zwei zu gleicher Zeit lebenden Physikern kann der eine solche Bedingungen vorfinden, wie sie Regnault hatte, während der andere sich noch vor Bedingungen sieht, wie sie Dulong und Arago besaßen. Der erste besitzt sehr genaue Apparate und will sehr exakte Beobachtungen ausführen, während der zweite nur grobe Instrumente besitzt, die Untersuchungen aber, die er ausführen will, auch keine große Annäherung erfordern. Dieser wird das Gesetz von Mariotte annehmen, jener wird es verwerfen.

Ja noch mehr. Man kann sehen, wie dasselbe physikalische Gesetz abwechselnd vom selben Physiker im Verlauf derselben Arbeit angenommen und verworfen wird. Wenn ein physikalisches Gesetz als richtig oder falsch bezeichnet

werden könnte, wäre dies ein befremdender Trugschluß. Der gleiche Satz wäre zur gleichen Zeit anerkannt und verworfen, was das Kennzeichen des formellen Widerspruches bildet.

Regnault arbeitet zum Beispiel an Untersuchungen über die Kompressibilität der Gase, die die Substituierung des Mariotteschen Gesetzes durch eine Formel von größerer Annäherung zum Ziel haben. Im Verlaufe seiner Versuche muß er den Atmosphärendruck in der Höhe der freien Oberfläche des Quecksilbers seines Manometers kennen. Diesen Druck will er aus der Formel von Laplace bestimmen. Die Aufstellung dieser Formel von Laplace beruht aber auf der Anwendung des Mariotteschen Gesetzes. Es tritt aber dennoch dabei keinerlei Trugschluß, keinerlei Widerspruch auf. Regnault weiß, daß der Fehler, der durch diesen speziellen Gebrauch des Mariotteschen Gesetzes eingeführt wird, viel geringer ist, als die Unsicherheiten der experimentellen Methode, von der er Gebrauch macht.

Da jedes physikalische Gesetz nur angenähert ist, ist es vom Fortschritt abhängig, der durch die Erhöhung der Genauigkeit der Experimente den Grad der Annäherung, den dieses Gesetz hat, unzureichend macht. Es ist seinem Wesen nach provisorisch. Die Bestimmung seines Wertes ändert sich von einem Physiker zum anderen im Maße der Beobachtungsmittel, über die sie verfügen, und der Genauigkeit, die sie von ihren Untersuchungen fordern. Es ist seinem Wesen nach relativ.

§ 4. — Jedes physikalische Gesetz ist provisorisch, weil es symbolisch ist.

Ein physikalisches Gesetz ist provisorisch, nicht nur weil es angenähert, sondern auch weil es symbolisch ist. Es treten immer Fälle ein, in denen die Symbole, auf denen es ruht, nicht mehr geeignet sind, die Realität in befriedigender Weise darzustellen.

Um ein gewisses Gas, zum Beispiel den Sauerstoff, zu studieren, hat der Physiker eine schematische Darstellung, die

der mathematischen Überlegung und der algebraischen Rechnung zugänglich ist, geschaffen. Er hat dieses Gas als eines der vollkommenen Fluida, die die Mechanik studiert, aufgefaßt, das eine gewisse Dichte hat, eine gewisse Temperatur besitzt und einem gewissen Druck unterworfen ist. Zwischen diesen drei Elementen, Dichte, Temperatur und Druck, hat er eine gewisse Beziehung aufgestellt, die durch eine gewisse Gleichung ausgedrückt wird. Das ist das Gesetz für die Kompression und Dilatation des Sauerstoffs. Ist dieses Gesetz definitiv?

Der Physiker bringe den Sauerstoff zwischen die zwei Platten eines stark geladenen elektrischen Kondensators. Er bestimme die Dichte, die Temperatur und den Druck des Gases. Die Werte dieser drei Elemente werden nicht mehr das Gesetz für die Kompression und Dilatation des Sauerstoffs bestätigen. Gerät der Physiker in Erstaunen, wenn er findet, daß an seinem Gesetz etwas auszusetzen sei? Wird er die Sicherheit der Naturgesetze in Zweifel ziehen? Keineswegs. Er sagt sich einfach, daß die mangelhafte Beziehung eine symbolische Beziehung sei, die nicht von dem reellen und konkreten Gase, mit dem er manipuliert, handelt, sondern von einem gewissen Vorstellungsgebilde, von einem schematischen Gas, das durch seinen Druck, seine Dichte und seine Temperatur charakterisiert ist. Er sagt sich, daß dieses Schema ohne Zweifel zu einfach und zu unvollständig ist, um die Eigenschaften des reellen Gases unter den Bedingungen, in denen es sich gegenwärtig befindet, darzustellen. Er sucht dann dieses Schema zu vervollständigen, es für die Darstellung der Wirklichkeit geeigneter zu machen. Er begnügt sich nicht mehr, den symbolischen Sauerstoff mit Hilfe seiner Dichte, seiner Temperatur und des Druckes, dem er unterliegt, darzustellen. Er schreibt ihm ein gewisses dielektrisches Verhalten zu. Er führt in den Bau des neuen Schemas die Intensität des elektrischen Feldes, in dem sich das Gas befindet, ein. Er unterwirft dieses vervollständigte Symbol neuen Studien und erhält das Gesetz der Kompressibilität des dielektrisch polarisierten Sauerstoffes. Das ist ein viel verwickelteres Gesetz als das, das er anfangs

hatte. Es enthält jenes als Spezialfall, aber da es viel umfassender ist, wird es auch in Fällen bestätigt, wo das primitive Gesetz versagt.

Ist dieses neue Gesetz nun definitiv?

Wenn wir das Gas, auf das es angewendet wird, zwischen die Pole eines Elektromagneten bringen, wird das neue Gesetz nun seinerseits durch das Experiment als falsch erwiesen. Glauben Sie nicht, daß dieser neue Einwand den Physiker in Erstaunen setze. Er weiß, daß er es mit einer symbolischen Beziehung zu tun hat und daß das Symbol, das er geschaffen, in gewissen Fällen ein treues Bild der Wirklichkeit ist, ihr aber nicht unter allen Umständen gleichen muß. Er nimmt daher, ohne sich entmutigen zu lassen, das Schema, durch das er das Gas, mit dem er experimentiert, darstellt, wieder vor, er stattet es mit neuen Zügen aus, damit es die Tatsachen darstellen könne. Es ist nicht mehr genug, daß das Gas eine gewisse Dichte, eine gewisse Temperatur, ein gewisses dielektrisches Verhalten besitze, daß es einem gewissen Druck unterliege, daß es sich in einem elektrischen Felde von gegebener Intensität befinde. Er schreibt ihm außerdem noch einen gewissen Magnetisierungskoeffizienten zu. Er gibt Rechenschaft von dem magnetischen Feld, in dem sich das Gas befindet, und indem er alle diese Elemente durch eine Gruppierung von Formeln vereinigt, erhält er das Gesetz für die Kompression und Dilatation des polarisierten und magnetisierten Gases. Es ist dies ein verwickelteres, aber weit umfassenderes Gesetz, als die, die er früher erhalten. Es wird in einer Unzahl von Fällen, wo jene versagten, bestätigt und ist dennoch ein provisorisches Gesetz. Eines Tages werden, wie der Physiker voraussieht, Bedingungen realisiert werden, wo auch dieses Gesetz seinerseits versagen wird. An diesem Tage wird man die symbolische Darstellung des studierten Gases wieder vornehmen müssen, ihr neue Elemente hinzufügen und ein noch umfassenderes Gesetz aufstellen. Das von der Theorie ausgeheckte mathematische Symbol paßt sich der Wirklichkeit ebenso an, wie die Rüstung an den Körper eines mit Eisen geharnischten Ritters. Je verwickelter die Rüstung ist,

um so schmiegsamer scheint das harte Metall zu werden. Die große Anzahl der Stücke, die ihn wie Schuppen bedecken, sichern einen viel vollkommeneren Kontakt zwischen dem Stahl und den beschützten Gliedern. Aber so zahlreich auch die Bestandteile der Rüstung seien, niemals wird sie genau die Gestalt des menschlichen Körpers annehmen.

Ich weiß, was man mir entgegnen wird. Man wird mir sagen, daß das Gesetz für die Kompression und Dilatation, welches ganz am Anfange formuliert wurde, keineswegs durch die späteren Versuche umgestoßen wurde, daß es das Gesetz bleibe, wenn sich der Sauerstoff komprimiere und dilatiere, wenn er jeder elektrischen oder magnetischen Wirkung entzogen sei. Die Untersuchungen des Physikers hätten lediglich gezeigt, daß zu diesem Gesetz, dessen Wert bestehen bleibe, das Gesetz der Kompressibilität des elektrisierten Gases und das Gesetz der Kompressibilität des magnetisierten Gases hinzugefügt werden müsse.

Selbst die, die die Dinge in dieser Art und Weise nehmen, müssen anerkennen, daß das primitive Gesetz uns zu schweren Irrtümern führen kann, wenn wir es ohne besondere Verwahrungen aussprechen. Das Gebiet, in dem es gilt, muß durch die folgenden zwei Einschränkungen eingegrenzt werden: Das Gas ist jeder elektrischen und jeder magnetischen Wirkung entzogen. Die Notwendigkeit dieser Einschränkung zeigte sich nun nicht gleich anfangs, sondern sie wurde durch die Experimente, die wir erwähnten, nötig. Sind diese Einschränkungen die einzigen, die an seinem Ausdruck angebracht werden müssen? Werden die Experimente, die in der Zukunft ausgeführt werden, nicht andere ebenso wesentliche Einschränkungen ergeben, als die ersteren? Welcher Physiker würde sich in dieser Richtung aussprechen und behaupten, daß der gegenwärtige Ausdruck nicht provisorisch, sondern definitiv sei?

Die physikalischen Gesetze sind daher provisorisch, indem die Symbole, auf denen sie ruhen, zu einfach sind, um die Wirklichkeit vollständig darzustellen. Immer treten Umstände auf, in denen das Symbol den konkreten Dingen nicht

mehr genügt, in denen das Gesetz nicht mehr genau die Erscheinungen anzeigt. Der Ausdruck des Gesetzes muß daher von Einschränkungen begleitet sein, die die Elimination dieser Umstände ermöglichen. Diese Einschränkungen kommen uns durch die Fortschritte der Physik zur Kenntnis. Niemals kann man behaupten, daß man die vollständige Aufzählung derselben besitzt, daß die aufgestellte Liste keinen Zuwachs, keine Verbesserung erleiden werde.

Diese Arbeit der fortwährenden Verbesserungen, durch die die physikalischen Gesetze immer mehr den Widerlegungen durch das Experiment entgehen, spielt eine so wesentliche Rolle in der Entwicklung der Wissenschaft, daß man uns gestatten wird, uns bei ihr noch ein wenig aufzuhalten und ihren Gang an einem zweiten Beispiel zu studieren.

Von allen physikalischen Gesetzen ist sicher das der allgemeinen Gravitation durch seine unzähligen Konsequenzen am besten bestätigt. Die genauesten Beobachtungen über die Bewegungen der Gestirne konnten ihm bisher keinen Eintrag tun. Ist es indessen ein definitives Gesetz? Nein, es ist ein provisorisches Gesetz, welches ohne Unterlaß modifiziert und vervollständigt werden muß, um mit der Erfahrung im Einklang zu bleiben.

Wir haben vor uns Wasser, das sich in einem Gefäß befindet. Das allgemeine Gravitationsgesetz lehrt uns die Kraft, die auf jedes einzelne dieser Teilchen ausgeübt wird, kennen. Diese Kraft ist das Gewicht des Teilchens. Die Mechanik gibt uns an, welche Gestalt das Wasser annehmen muß: Wie immer auch die Beschaffenheit und Gestalt des Gefäßes ist, das Wasser muß immer durch eine horizontale Ebene begrenzt sein. Betrachten wir die Oberfläche des Wassers in der Nähe. In einer gewissen Entfernung von den Rändern des Gefässes ist sie horizontal, an den Wandungen des Glases hingegen nicht mehr. Es erhebt sich entlang dieser Wandungen, in einer engen Röhre steigt es sehr hoch und wird vollständig konkav. Da sehen wir, wie das Gesetz der allgemeinen Anziehung versagt. Damit das Gravitationsgesetz nicht durch die Kapillarerscheinungen widerlegt werde, muß

man es ändern. Man darf die Formel, nach der die Anziehung umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist, nicht als eine genaue, sondern nur als eine angenäherte betrachten. Man muß annehmen, daß diese Formel mit hinreichender Genauigkeit die Anziehung zweier entfernter, materieller Teilchen darstellt, daß sie aber unrichtig wird, wenn es sich darum handelt, die gegenseitige Wirkung zweier sehr wenig entfernter Elemente auszudrücken. Man muß in die Gleichungen einen ergänzenden Ausdruck einführen, der sie zwar komplizierter aber dabei auch geeignet macht, eine ausgedehntere Klasse von Erscheinungen darzustellen und ihnen ermöglicht, in dem gleichen Gesetz sowohl die Bewegungen der Gestirne, als die Kapillarwirkungen zu umfassen.

Dieses Gesetz wird umfassender sein als das von Newton. Es wird deswegen aber noch nicht vor jedem Widerspruch bewahrt sein. Wenn man, wie es Draper getan, an zwei verschiedenen Stellen einer flüssigen Masse metallische Drähte einführt, die zu den beiden Polen einer Säule führen, kommen die Gesetze der Kapillarität in Widerspruch mit der Beobachtung. Um diesen Widerspruch zu beseitigen, muß man die Formeln der Kapillarwirkungen wieder vornehmen, sie modifizieren und vervollständigen, indem man den elektrischen Ladungen, die sich auf den Flüssigkeitsteilchen befinden und den Kräften, die zwischen den elektrisierten Teilchen auftreten, Rechnung trägt. So wird sich dieser Kampf zwischen der Wirklichkeit und den physikalischen Gesetzen unendlich ausdehnen. Jedem Gesetz, das die Physik formulieren wird, wird die Wirklichkeit früher oder später die rücksichtslose Widerlegung durch eine Tatsache entgegenstellen. Aber unermüdlich wird die Physik das widerlegte Gesetz verbessern, modifizieren und verwickelter machen, und es so durch ein umfassenderes Gesetz ersetzen, in dem die durch das Experiment aufgezeigte Ausnahme nun ihrerseits ihre Regel findet.

In diesem unaufhörlichen Kampf, in dieser Arbeit, durch die die Gesetze fortwährend so vervollständigt werden, daß die Ausnahmen in ihnen Aufnahme finden, besteht der Fortschritt der Physik. Weil die Gesetze der Schwere gegenüber

einem mit Wolle geriebenen Stück Bernstein versagten, mußte die Physik die Gesetze der Elektrostatik schaffen. Weil ein Magnet denselben Gesetzen der Schwere zum Trotz das Eisen hob, mußte sie die Gesetze des Magnetismus formulieren. Da Oerstedt eine Ausnahme an den Gesetzen der Elektrostatik und des Magnetismus gefunden, kam Ampère zur Aufstellung der Gesetze der Elektrodynamik und des Elektromagnetismus. Die Physik macht ihre Fortschritte nicht wie die Geometrie, die neue definitive, außer Diskussion stehende Lehrsätze zu den definitiven außer Diskussion stehenden Lehrsätzen, die sie schon besaß, hinzufügt. Sie macht Fortschritte, weil das Experiment ohne Unterlaß neue Widersprüche zwischen den Gesetzen und Tatsachen hervortreten läßt und weil die Physiker ohne Unterlaß die Gesetze verbessern und modifizieren, damit sie genauer die Tatsachen darstellen.

§ 5. — Die physikalischen Gesetze sind detaillierter als jene des gewöhnlichen Verstandes.

Die Gesetze, die die gewöhnliche, nichtwissenschaftliche Erfahrung uns zu formulieren ermöglicht, sind allgemeine Urteile, deren Sinn unmittelbar einleuchtet. Wenn wir uns einem dieser Urteile gegenübersehen, können wir fragen: Ist es wahr? Oft ist die Antwort leicht, in allen Fällen kann sie durch ja oder nein ausgedrückt werden. Das als wahr erkannte Gesetz gilt für alle Zeiten und alle Menschen, es ist fest und absolut.

Die wissenschaftlichen Gesetze, die auf physikalische Experimente gegründet sind, sind symbolische Beziehungen, deren Sinn dem unfaßbar bleibt, der die physikalischen Theorien nicht kennt. Da sie symbolisch sind, sind sie stets weder richtig noch falsch, sondern wie die Experimente, auf denen sie ruhen, angenähert. Die Annäherung eines Gesetzes, die heute hinreicht, wird in der Zukunft durch den Fortschritt der experimentellen Methoden unzureichend. Sie genügt für die Bedürfnisse eines Physikers, sie befriedigt nicht die Wünsche eines anderen. So ist ein physikalisches Gesetz immer

provisorisch und relativ. Es ist auch darin provisorisch, daß es nicht die Realitäten, sondern die Symbole verbindet und daß es immer Fälle gibt, in denen das Symbol nicht mehr der Wirklichkeit entspricht. Die physikalischen Gesetze können daher nur durch eine kontinuierliche Arbeit bestehend in Verbesserungen und Modifikationen aufrecht erhalten werden. Das Problem des Wertes der physikalischen Gesetze tritt daher in einer ganz anderen Art, in einer unendlich verwickelteren und heikleren Art als das Problem der Sicherheit der Gesetze des gewöhnlichen Verstandes auf. Man könnte versucht sein, daraus den befremdenden Schluß abzuleiten, daß die Kenntnis der physikalischen Gesetze einen niedrigeren Grad des Wissens bilde, als die einfache Kenntnis der Gesetze des gewöhnlichen Verstandes. Denjenigen, die versuchen würden, aus den vorangehenden Betrachtungen diesen paradoxen Schluß abzuleiten, begnügen wir uns zu antworten, indem wir bezüglich der Gesetze der Physik das, was wir bezüglich der wissenschaftlichen Experimente gesagt, wiederholen: Ein physikalisches Gesetz besitzt eine weit weniger unmittelbare und viel schwerer zu bestimmende Sicherheit, als ein Gesetz des gewöhnlichen Verstandes. Aber es übertrifft dieses letztere durch die tiefgehende und detaillierte Genauigkeit seiner Voraussagungen.

Wenn man das Gesetz des gewöhnlichen Verstandes: In Paris geht die Sonne alle Tage im Osten auf, steigt am Himmel empor, senkt sich wieder und geht im Westen unter, mit den Formeln, die uns in jedem Augenblick beinahe auf eine Sekunde genau die Koordinaten des Sonnenzentrums angeben, vergleicht, wird man von der Richtigkeit dieses Satzes überzeugt sein.

Diese Genauigkeit im Detail können die physikalischen Gesetze nur erlangen, indem sie etwas von der festen und absoluten Sicherheit der Gesetze des gewöhnlichen Verstandes opfern. Zwischen der Genauigkeit und der Sicherheit besteht eine Art Kompensation; die eine kann nur wachsen, wenn die andere abnimmt. Der Bergarbeiter, der mir einen Stein zeigt, kann ohne Zögern, ohne Einschränkung behaupten,

daß dieser Stein Gold enthalte. Der Chemiker aber, der mir eine glänzende Barre vorweist und sagt, das ist reines Gold, kann verbessernd beifügen: oder beinahe reines. Er kann nicht behaupten, daß die Barre nicht unmerkliche Spuren eines anderen Stoffes enthalte.

Der Mensch kann schwören, die Wahrheit zu sagen, aber es liegt nicht in seiner Macht die ganze Wahrheit und nur die Wahrheit zu sagen. „Die Wahrheit[1]) ist ein so feiner Punkt, daß unsere Instrumente zu stumpf sind, um sie zu treffen. Wenn sie zu ihr gelangen, drücken sie den Punkt platt und liegen dann mehr als auf dem Wahren auf dem Falschen, das es umgibt."

Zehntes Kapitel.

Die physikalische Theorie und das Experiment.

§ 1. — Die experimentelle Kontrolle einer Theorie besitzt in der Physik nicht die gleiche logische Einfachheit wie in der Physiologie.

Die physikalische Theorie hat nur das Ziel, eine Darstellung und Klassifikation der experimentellen Gesetze zu liefern. Die einzige Probe, die es ermöglicht, eine physikalische Theorie zu beurteilen, sie als gut oder schlecht zu erklären, ist der Vergleich zwischen den Konsequenzen dieser Theorie und den experimentellen Gesetzen, die sie darstellen und gruppieren soll. Da wir nun genau die Eigenschaften eines Experimentes der Physik und eines physikalischen Gesetzes analysiert haben, können wir die Prinzipien festlegen, die bei dem Vergleich zwischen Experiment und Theorie zur Geltung kommen sollen. Wir können sagen, wie man erkennt, ob eine Theorie durch die Tatsachen bestätigt oder widerlegt wird.

Viele Philosophen denken, wenn sie über die experimentellen Wissenschaften sprechen, nur an solche, die in ihrer Entwicklung noch nicht weit fortgeschritten sind, wie die Phy-

[1]) Pascal: Pensées, édition Havet, art. III n° 3.

siologie, wie gewisse Zweige der Chemie, in denen der Forscher die Tatsachen direkt in Gedanken behandelt, in denen die Methode, die er benützt, nur die des gewöhnlichen, zu größerer Aufmerksamkeit angeregten Verstandes ist, in denen die mathematische Theorie noch nicht ihre symbolischen Darstellungen eingeführt hat. In solchen Wissenschaften ist der Vergleich zwischen den Deduktionen einer Theorie und den experimentellen Tatsachen sehr einfachen Regeln unterworfen. Diese Regeln wurden von Claude Bernard in sehr prägnanter Weise ausgedrückt und in folgendem einzigem Prinzip zusammengefaßt[1]): „Der Experimentator muß zweifeln, die fixen Ideen fliehen und stets die Freiheit seines Kopfes wahren."

„Die erste Bedingung, die ein Gelehrter erfüllen muß, der sich der Erforschung der Naturerscheinungen widmet, besteht darin, daß er sich vollkommene Freiheit des Denkens, die auf dem philosophischen Zweifel beruht, wahrt."

Die Theorie soll nichts weiter als die Anregung zur Ausführung von Experimenten geben; „wir können[2]) unserem Gefühl und unseren Gedanken folgen, unserer Phantasie freien Lauf lassen, vorausgesetzt, daß alle unsere Gedanken nur dazu gebraucht werden, um neue Experimente anzuordnen, die uns Tatsachen liefern, die als Beweise dienlich oder unvorhergesehen und fruchtbar sind". Wenn einmal das Experiment ausgeführt und die Resultate klar konstatiert sind, hat die Theorie sie nur zu benützen, um sie zu generalisieren, zu verknüpfen und aus ihnen neue Versuchsobjekte abzuleiten; „wenn man[3]) von den Prinzipien der experimentellen Methode erfüllt ist, hat man nichts zu fürchten; denn wenn ein Gedanke richtig ist, fährt man fort ihn zu entwickeln, wenn er irrig ist, wird ihn das Experiment berichtigen". Aber solange das Experiment dauert, muß die Theorie vor der streng verschlossenen Türe des Laboratoriums bleiben. Sie muß Stillschweigen bewahren und den Gelehrten ungestört den Tatsachen

[1]) Claude Bernard: Introduction à la Médecine expérimentale. Paris, 1865; p. 63.

[2]) Claude Bernard: loc. cit. p. 64.

[3]) Claude Bernard: loc. cit. p. 70.

von Angesicht zu Angesicht gegenüberstehen lassen. Diese müssen ohne vorgefaßte Meinung beobachtet, mit der gleichen peinlichen Unparteilichkeit gesammelt werden, ob sie nun die Vorhersagungen der Theorie bestätigen oder ihnen widersprechen. Der Bericht, den uns der Beobachter über sein Experiment gibt, muß ein getreuer und peinlich genauer Abklatsch der Erscheinungen sein. Er darf uns sogar nicht ahnen lassen, welchem System der Gelehrte anhängt, gegen welches er Bedenken hegt.

„Die Leute[1]), die übertriebenen Glauben an ihre Gedanken haben, sind nicht nur schlecht zur Ausführung von Entdeckungen veranlagt, sondern sie machen auch sehr schlechte Beobachtungen. Sie beobachten notwendigerweise mit einer vorgefaßten Meinung, und wenn sie ein Experiment angeordnet haben, wollen sie in den Resultaten desselben nur eine Bestätigung ihrer Theorie sehen. Sie entstellen so die Beobachtung und vernachlässigen oft sehr wichtige Tatsachen, weil sie nicht ihrem Zwecke entsprechen. Das veranlaßte uns früher zu sagen, daß man niemals Experimente ausführen soll um seine Gedanken zu bestätigen, sondern bloß um sie zu kontrollieren . . . Aber es ist auch ganz natürlich, daß diejenigen, die zu sehr an ihre eigenen Theorien, zu wenig an die der anderen glauben. Bei solchen Leuten, die stets auf andere herabsehen, herrscht die Idee vor, in den Theorien der anderen Fehler finden zu müssen und alles daran zu setzen, um ihnen widersprechen zu können. Dies ist für die Wissenschaft ebenso unzukömmlich. Sie führen Experimente nur aus, um eine Theorie zu vernichten, anstatt um die Wahrheit zu suchen. Ebenso führen sie schlechte Beobachtungen aus, weil sie in die Resultate ihrer Experimente nur das aufnehmen, was ihren Zwecken entspricht, alles vernachlässigen, was sich ihnen nicht einfügt und alles sorgfältig ausmerzen, was im Sinne des Gedankens, den sie bekämpfen wollen, liegen könnte. Man wird daher so auf zwei entgegengesetzten Wegen zu dem gleichen Resultat, das heißt zur Verfälschung der Wissenschaft und der Tatsachen, geführt."

[1]) Claude Bernard: loc. cit. p. 67.

„Aus alledem muß man schließen, daß man ebensosehr seine eigene Meinung, wie die der anderen gegenüber den Entscheidungen des Experimentes zurücktreten lassen muß; . . . daß man die Resultate des Experimentes, wie sie sich darbieten, mit all ihrem Unvorhergesehenen und all ihren Zufälligkeiten akzeptieren muß."

Nehmen wir zum Beispiel einen Physiologen. Er nimmt an, daß die vorderen Enden des Rückenmarks die motorischen Nervenfäden enthalten und die hinteren die sensitiven Fäden. Die Theorie, die er annimmt, führt ihn dazu, ein Experiment zu erdenken. Wenn er das vordere Ende abschneidet, muß die Beweglichkeit eines gewissen Körperteiles aufhören, ohne daß dessen Sensibilität Eintrag geschieht. Nachdem er dieses Ende abgeschnitten, beobachtet er die Folgen seiner Operation. Während er von ihnen Rechenschaft gibt, muß er von all seinen Gedanken über die Physiologie des Markes abstrahieren. Sein Bericht muß eine unveränderte Beschreibung der Tatsachen sein. Er darf keine Bewegung, kein Zucken, das seinen Vorhersagungen widerspricht, mit Stillschweigen übergehen; er darf es keiner sekundären Ursache zuschreiben, außer wenn ein besonderes Experiment diese Ursache klargelegt hat; er muß, wenn er nicht der wissenschaftlichen Unehrlichkeit angeklagt werden will, eine absolute Trennung, eine undurchlässige Scheidewand zwischen den Konsequenzen seiner theoretischen Deduktionen und der Konstatierung der Tatsachen, die ihm seine Experimente aufweisen, herstellen.

Eine derartige Regel ist nicht leicht zu befolgen. Sie erfordert vom Gelehrten eine absolute Unbefangenheit gegenüber seinem eigenen Fühlen, vollständigen Mangel an Animosität gegenüber der Meinung anderer; die Eitelkeit, wie der Neid dürfen nicht bis zu ihm dringen, oder wie Bacon sagt, „er darf niemals das Auge durch die menschlichen Leidenschaften benetzt haben". Die Freiheit des Denkens, in der nach Claude Bernard das einzige Prinzip der experimentellen Methode besteht, hängt nicht nur von den intellektuellen Bedingungen, sondern ebensosehr von den moralischen, die sie noch seltener und verdienstvoller machen, ab.

Aber wenn die experimentelle Methode, so wie sie beschrieben wurde, schwierig zu handhaben ist, so ist doch ihre logische Analyse sehr einfach. Dem ist nicht mehr so, wenn die Theorie, die der Kontrolle der Tatsachen unterworfen werden soll, nicht mehr der Physiologie, sondern der Physik angehört. In diesem Falle kann in der Tat nicht mehr die Rede davon sein, die Theorie, die man prüfen will, vor der Türe des Laboratoriums zu lassen, denn ohne sie ist es unmöglich nur ein einziges Instrument zu justieren, eine einzige Ablesung zu interpretieren. Wir haben gesehen, daß im Kopfe des Physikers, der experimentiert, stets zwei Apparate vorhanden sind: der eine ist der konkrete Apparat aus Glas und Metall, mit dem er manipuliert, der andere ist der schematische und abstrakte, den die Theorie an Stelle des konkreten setzt und an den der Physiker seine Betrachtungen anknüpft. Diese beiden Begriffe sind unauflöslich in seinem Verstande vereinigt. Jeder von ihnen ruft notwendigerweise den anderen hervor. Der Physiker kann nicht an den konkreten Apparat denken, ohne den Begriff des schematischen Apparates zu assoziieren, ebenso wie der Franzose nicht an einen Begriff denken kann, ohne das französische Wort, durch das er ausgedrückt wird, in Gedanken danebenzustellen. Diese grundlegende Unmöglichkeit der Trennung der physikalischen Theorien von den experimentellen Verfahren, die zur Kontrolle dieser selben Theorien dienen sollen, macht diese Kontrolle besonders kompliziert und nötigt uns genau deren logischen Sinn zu prüfen.

Richtig ist, daß der Physiker nicht der einzige ist, der im Augenblick, in dem er experimentiert oder das Resultat seiner Experimente wiedergibt, von Theorien Gebrauch macht. Wenn der Chemiker oder der Physiologe von physikalischen Instrumenten, dem Thermometer, dem Manometer, dem Kalorimeter, dem Galvanometer oder Saccharimeter Gebrauch macht, nimmt er implizite die Richtigkeit von Theorien an, die den Gebrauch dieser Apparate rechtfertigen, von Theorien, die den abstrakten Begriffen Temperatur, Druck, Wärmemenge, Stromintensität, polarisiertes Licht erst einen Sinn geben, durch die die konkreten Angaben dieser Instrumente übersetzt werden.

Aber die Theorien, von denen diese Forscher Gebrauch machen, gehören ebenso wie die Instrumente, die sie anwenden, in das Gebiet der Physik. Indem der Chemiker und der Physiologe mit den Instrumenten die Theorien, ohne die deren Angaben keinen Sinn hätten, akzeptieren, schenken sie dem Physiker ihr Vertrauen und halten sie ihn für unfehlbar. Der Physiker aber muß gegen seine eigenen theoretischen Begriffe, wie gegen die seiner Fachgenossen mißtrauisch sein. Vom logischen Gesichtspunkt aus hat der Unterschied wenig Bedeutung. Für den Physiologen, für den Chemiker ebenso wie für den Physiker enthält der Ausdruck eines Resultates seines Experimentes im allgemeinen einen Akt des Glaubens an eine ganze Gruppe von Theorien.

§ 2. — Ein physikalisches Experiment kann niemals zur Verwerfung einer isolierten Hypothese, sondern immer nur zu der einer ganzen theoretischen Gruppe, führen.

Der Physiker, der ein Experiment ausführt oder über dasselbe berichtet, anerkennt implizite die Richtigkeit einer ganzen Gruppe von Theorien. Nehmen wir dieses Prinzip an und sehen wir, welche Konsequenzen man daraus ableiten kann, wenn man die Rolle und logische Tragweite eines physikalischen Experimentes einschätzen will.

Um jeden Irrtum zu vermeiden, unterscheiden wir zwei Arten von Experimenten: Experimentelle Anwendungen, die uns ohne weiteres eine Angabe machen und experimentelle Prüfungen, wie sie uns vor allem beschäftigen werden.

Wir befinden uns einem physikalischen Problem gegenüber, das wir praktisch lösen sollen. Um diese oder jene Wirkung hervorzubringen, müssen wir von den von den Physikern erlangten Kenntnissen Gebrauch machen. Wir wollen zum Beispiel eine Glühlampe zum Leuchten bringen. Die als zulässig erkannten Theorien geben uns die Hülfsmittel zur Lösung dieses Problems an. Aber um von diesen Hülfsmitteln Gebrauch machen zu können, müssen wir uns gewisse Aufschlüsse verschaffen. Wir müssen, wie wir annehmen wollen, die elektro-

motorische Kraft der Akkumulatorenbatterie, die wir besitzen, bestimmen. Wir messen diese elektromotorische Kraft. Hier haben wir eine experimentelle Anwendung vor uns. Dieses Experiment hat nicht den Zweck festzustellen, ob die als zulässig erkannten Theorien richtig sind oder nicht; es soll einfach aus diesen Theorien Nutzen ziehen. Um es auszuführen, machen wir von diesen Instrumenten, durch die die Richtigkeit dieser selben Theorien dargelegt wird, Gebrauch. Darin ist nichts, was die Logik verletzt.

Aber der Physiker hat es nicht nur mit den experimentellen Anwendungen, durch die die Wissenschaft allein die Praxis unterstützen kann, zu tun. Nicht durch sie wurde die Wissenschaft geschaffen und entwickelt, sondern durch die experimentellen Prüfungen, die neben den experimentellen Anwendungen vorgenommen werden.

Wie wird ein Physiker, wenn er ein bestimmtes Gesetz bestreitet, wenn er einen gewissen Punkt der Theorie in Zweifel zieht, die Entscheidung über seine Zweifel fällen, wie wird er die Unrichtigkeit des Gesetzes beweisen? Er wird aus dem in Frage gestellten Lehrsatz eine Vorhersage einer experimentellen Tatsache folgern, und sodann die Bedingungen, unter denen diese Tatsache entstehen muß, realisieren. Wenn die angekündigte Tatsache nicht entsteht, ist der Lehrsatz, der sie vorhergesagt, unrettbar gerichtet.

F. E. Neumann meinte, daß die Schwingung eines polarisierten Lichtstrahles parallel zur Polarisationsebene sei. Viele Physiker haben diesen Lehrsatz in Zweifel gezogen. Was hat Hr. O. Wiener getan, um diesen Zweifel in Gewißheit zu verwandeln, um zu zeigen, daß der Lehrsatz von Neumann zu verwerfen sei? Er leitete aus diesem Lehrsatz folgende Konsequenz ab: Wenn man ein Lichtbündel, das unter 45° an einer Glasplatte reflektiert wurde mit dem einfallenden Bündel, das normal zur Einfallsebene polarisiert ist, interferieren läßt, müssen helle und dunkle Fransen, die parallel zur reflektierenden Fläche sind, entstehen. Er realisierte die Bedingungen, unter denen diese Fransen entstehen sollten und zeigte, daß die erwartete Erscheinung nicht eintrat. Er folgerte daraus, daß

der Lehrsatz von F. E. Neumann falsch sei, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingung nicht parallel zur Polarisationsebene sei. Eine derartige Beweismethode scheint ebenso überzeugend und unwiderlegbar, wie wenn etwas nach der bei den Mathematikern üblichen Methode ad absurdum geführt wird. Dieser Beweis ist übrigens der Methode des ad-absurdum-Führens nachgebildet, wobei der experimentelle Widerspruch im einen Falle, die Rolle des logischen Widerspruches im anderen spielt.

In Wirklichkeit fehlt viel dahin, daß die Beweiskraft der experimentellen Methode ebenso streng und absolut sei. Die Bedingungen, unter denen sie zur Anwendung kommt, sind viel verwickelter als wir es vorausgesetzt haben. Die Bestimmung der Resultate ist viel heikler und der Bestätigung bedürftig.

Ein Physiker will die Unrichtigkeit eines Lehrsatzes beweisen. Um aus diesem Lehrsatz eine zu erwartende Erscheinung abzuleiten, um das Experiment, das zeigen soll, ob diese Erscheinung eintritt oder nicht, anzuordnen, um die Resultate dieses Experimentes zu interpretieren und um zu konstatieren, ob die erwartete Erscheinung aufgetreten sei, kann er sich nicht auf die Anwendung des in Frage stehenden Lehrsatzes beschränken. Er wendet noch eine ganze Gruppe von Theorien an, die von ihm nicht in Frage gestellt sind. Das Auftreten oder Nichtauftreten der Erscheinung, das die Debatte entscheiden soll, ergibt sich nicht aus dem strittigen Lehrsatz allein, sondern aus der Verbindung desselben mit dieser ganzen Gruppe von Theorien. Wenn die erwartete Erscheinung nicht auftritt, wird nicht nur der einzige strittige Lehrsatz widerlegt, sondern das ganze theoretische Gerüst, von dem der Physiker Gebrauch gemacht hat. Das Experiment lehrt uns bloß, daß unter allen Lehrsätzen, die dazu gedient haben, die Erscheinung vorauszusagen und zu konstatieren, daß sie nicht auftritt, mindestens einer ein Irrtum sei. Aber wo dieser Irrtum liegt, sagt es uns nicht. Erklärt der Physiker, daß dieser Irrtum gerade in dem Lehrsatz, den er widerlegen will, enthalten sei und nirgends anders? Das würde bedeuten, daß er implizite die Richtigkeit aller anderen

Lehrsätze, von denen er Gebrauch macht, annimmt. Ebensoviel, wie dieses Vertrauen, ist sein Schluß wert.

Nehmen wir zum Beispiel das von Zenker erdachte und von Hrn. O. Wiener realisierte Experiment. Als Hr. O. Wiener die Gestalt der Fransen unter gewissen Bedingungen voraussagte und zeigte, daß dieselben nicht auftreten, machte er nicht nur von dem berühmten Lehrsatz von F. E. Neumann, den er widerlegen wollte, Gebrauch. Er nahm nicht nur an, daß in einem polarisierten Strahl die Schwingungen parallel zur Polarisationsebene seien, sondern er bediente sich auch unter anderem der allgemein anerkannten Lehrsätze, der Gesetze und der Hypothesen, aus denen die Optik besteht. Er nahm an, daß das Licht aus einfachen, periodischen Schwingungen bestehe, daß diese Schwingungen normal zum Lichtstrahl seien, daß in jedem Punkte die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung die Lichtintensität messe, daß die verschiedenen Grade dieser Intensität daran gemessen werden, inwieweit eine photographische Platte angegriffen wird. Diese verschiedenen Lehrsätze und viele andere, die aufzuzählen zu weitläufig wäre, mußte er dem von Neumann hinzufügen, damit er eine Voraussage formulieren und erkennen konnte, daß das Experiment dasselbe widerlege. Wenn nach Hrn. Wiener die Widerlegung einzig und allein dem Lehrsatz von Neumann gilt, wenn dieser allein die Verantwortung für den Fehler, den diese Widerlegung aufgedeckt hat, trägt, so bedeutet das, daß Hr. Wiener die anderen Sätze, die er verwendete, über allen Zweifel erhaben hielt. Aber dieses Vertrauen tritt nicht mit logischer Notwendigkeit auf. Nichts hindert uns, den Lehrsatz von F. E. Neumann für richtig zu halten und die Schuld des experimentellen Widerspruches irgend einem anderen gewöhnlich für zulässig gehaltenen Lehrsatz der Optik zuzuschreiben. Man kann sehr wohl, wie Hr. H. Poincaré gezeigt hat, die Hypothese von Neumann vor den Fangarmen des Experimentes des Hrn. O. Wiener bewahren, aber nur unter der Bedingung, daß man zum Tausch dafür die Hypothese, die die mittlere lebendige Kraft der Schwingungsbewegung zum Maß der Lichtintensität macht, preisgibt. Man kann, ohne mit dem

Experiment in Widerspruch zu kommen, die Schwingung parallel zur Polarisationsebene annehmen, vorausgesetzt, daß man die Lichtintensität durch die mittlere potentielle Energie des Mediums, das durch die Schwingungsbewegung deformiert wird, mißt.

Diese Prinzipien haben eine solche Bedeutung, daß es vielleicht nicht unnütz sein dürfte, sie auf ein anderes Beispiel anzuwenden. Wählen wir noch ein Experiment, das als eines der entscheidendsten in der Optik betrachtet wird.

Wie bekannt hat Newton eine Theorie der optischen Erscheinungen, die Emissionstheorie, entworfen. Die Emissionstheorie nimmt an, daß das Licht aus außerordentlich feinen Projektilen besteht, die mit ungeheurer Geschwindigkeit von der Sonne und anderen Lichtquellen weggeschleudert werden. Diese Projektile durchdringen alle durchsichtigen Körper. Von den verschiedenen Teilen der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, werden auf sie anziehende oder abstoßende Kräfte ausgeübt. Dieselben sind sehr kräftig, wenn die Distanz, die die wirkenden Partikeln trennt, ganz klein ist, sie verschwinden, wenn die Massen, zwischen denen sie auftreten, sich merkbar voneinander entfernen. Diese grundlegenden Hypothesen führen in Verbindung mit mehreren andern, die wir mit Stillschweigen übergehen wollen, zu einer vollständigen Theorie der Reflexion und Refraktion des Lichtes. Im besonderen ergibt sich aus ihnen folgende Konsequenz: Der Brechungsindex des Lichtes beim Übergang aus einem Medium in ein anderes ist gleich der Geschwindigkeit des leuchden Projektils im Innern des Mediums, in das es eintritt, geteilt durch die Geschwindigkeit desselben Projektils im Innern des Mediums, das es verläßt.

Diese Konsequenz hat Arago gewählt, um zu beweisen, daß die Emissionstheorie mit den Tatsachen in Widerspruch stehe. Aus diesem Lehrsatz ergibt sich nämlich folgender andere: Das Licht bewegt sich im Wasser schneller als in Luft. Arago gab nun ein Verfahren an, um die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft mit der in Wasser zu vergleichen. Das Verfahren war allerdings unanwendbar, aber Foucault modi-

fizierte das Experiment in der Art, daß es ausgeführt werden konnte und führte es auch aus. Er fand, daß das Licht sich weniger schnell im Wasser als in der Luft bewege. Daraus kann man mit Foucault schließen, daß das System der Emission mit den Tatsachen unvereinbar sei.

Ich sage das System der Emission, und nicht die Hypothese der Emission, denn es ist in der Tat die ganze Gruppe der von Newton, ebenso wie nachher von Laplace und Biot anerkannten Lehrsätze, in der das Experiment einen Fehler aufgewiesen hat. Es ist die ganze Theorie, aus der die Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien abgeleitet wird. Aber indem das Experiment dieses System als ganzes verwirft, indem es erklärt, daß es mit einem Fehler behaftet sei, sagt es nichts darüber, wo dieser Fehler liegt. Liegt er in der fundamentalen Hypothese, daß das Licht aus Projektilen besteht, die mit großer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern weggeschleudert werden? Liegt er in irgend einer anderen Annahme über die Wirkungen, die die leuchtenden Teilchen von seiten der Medien, in deren Innern sie sich bewegen, erfahren? Wir wissen darüber nichts. Es wäre verwegen zu glauben, wie Arago gedacht zu haben scheint, daß das Experiment von Foucault unwiderbringlich die Emissions-Hypothese selbst, die Ersetzung eines Lichtstrahles durch einen Schwarm von Projektilen, vernichte. Wenn die Physiker einen Preis auf die Aufstellung eines optischen Systems, das auf diese Annahme gegründet und dabei mit dem Experiment von Foucault in Übereinstimmung steht, gesetzt hätten, würden sie sicher eine derartige Arbeit erhalten haben.

All dies zusammengefaßt ergibt sich, daß der Physiker niemals eine isolierte Hypothese, sondern immer nur eine ganze Gruppe von Hypothesen der Kontrolle des Experimentes unterwerfen kann. Wenn das Experiment mit seinen Voraussagungen in Widerspruch steht, lehrt es ihn, daß wenigstens eine der Hypothesen, die diese Gruppe bilden, unzulässig ist und modifiziert werden muß.

Wir befinden uns da recht weit von der experimentellen

Methode, wie sie gerne jene Leute, die ihrer Funktion fremd gegenüberstehen, auffassen. Man denkt gewöhnlich, daß jede Hypothese, deren sich die Physik bedient, isoliert genommen und der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden kann. Wenn dann verschiedene und vielfache Prüfungen den Wert derselben konstatieren ließen, kann sie in definitiver Weise in dem System der Physik ihren Platz finden. In Wirklichkeit ist es nicht so. Die Physik ist keine Maschine, die sich demontieren läßt. Man kann nicht jedes Stück isoliert untersuchen und voraussetzen, daß nur genau auf ihre Festigkeit kontrollierte Stücke montiert werden. Die physikalische Wissenschaft ist ein System, das man als Ganzes nehmen muß, ist ein Organismus, von dem man nicht einen Teil in Funktion setzen kann, ohne daß auch die entferntesten Teile desselben ins Spiel treten, die einen in höherem die anderen in geringerem, aber alle in irgend einem Grade. Wenn irgend eine Störung, irgend eine Beschwerde in seiner Funktion auftritt, so ist sie in der Tat durch das gesamte System hervorgerufen, und der Physiker muß das Organ finden, welches in Ordnung gebracht oder modifiziert werden muß, ohne daß es ihm möglich wäre, dieses Organ zu isolieren und es einzeln zu prüfen. Der Uhrmacher, dem man eine Uhr gibt, die nicht geht, nimmt alle Räder derselben heraus und prüft jedes einzeln, bis er das gefunden, welches fehlerhaft oder gebrochen ist. Der Arzt, der einen Kranken untersucht, kann diesen nicht zerschneiden, um seine Diagnose aufzustellen. Er muß den Sitz und die Ursache des Übels einzig und allein durch die Feststellung der Unregelmäßigkeiten, die am Körper als Ganzes auftreten, erkennen. Diesem und nicht jenem gleicht der Physiker, der eine lahme Theorie wieder auf die Beine bringen soll.

§ 3. — Das experimentum crucis. ist in der Physik unmöglich.

Verweilen wir noch einen Augenblick, da wir es hier mit einem der wesentlichsten Punkte der experimentellen Methode, wie sie in der Physik angewendet wird, zu tun haben.

Die Methode des ad-absurdum-Führens, die nur ein Mittel der Widerlegung zu sein scheint, kann zu einem Beweismittel werden. Um zu beweisen, daß ein Lehrsatz richtig ist, genügt es, den genau entgegengesetzten Lehrsatz zu einer absurden Konsequenz zu treiben. Man weiß welch ausgedehnten Gebrauch die griechischen Mathematiker von dieser Art der Beweisführung gemacht haben.

Diejenigen, die den experimentellen Widerspruch mit der Methode des ad-absurdum-Führens gleichsetzen, meinen, daß man in der Physik von einem Argument Gebrauch machen kann, das dem von Euklid so häufig in der Geometrie benützten gleicht. Wollen Sie von irgend einer Gruppe von Erscheinungen eine gewisse, unbestreitbare, theoretische Erklärung erhalten? Zählen Sie alle Hypothesen auf, die man annehmen kann, um von dieser Erscheinungsgruppe Rechenschaft zu geben; alsdann eliminieren Sie auf Grund des experimentellen Widerspruches alle bis auf eine; diese letztere wird keine Hypothese mehr sein, sondern eine Gewißheit darstellen.

Nehmen Sie im Speziellen an, daß nur zwei Hypothesen vorhanden seien; suchen Sie experimentelle Bedingungen von der Art, daß eine dieser Hypothesen das Auftreten einer Erscheinung, die andere das einer ganz anderen Erscheinung anzeige; realisieren Sie diese Bedingungen und beobachten Sie was geschieht; je nachdem Sie die erste der vorausgesagten Erscheinungen beobachten oder die zweite, werden Sie die zweite resp. die erste Hypothese verwerfen; diejenige, die nicht verworfen wird, wird in Zukunft unbestreitbar sein; die Debatte ist geschlossen, die Wissenschaft hat eine neue Wahrheit erlangt. Das ist die experimentelle Prüfung, der der Autor des Novum Organum den Namen „Experimentum crucis" beilegte, „indem er diesen Ausdruck auf die Kreuze bezog, die an den Straßenkreuzungen die verschiedenen Wege anzeigen".

Es liegen zwei Hypothesen über die Natur des Lichtes vor. Für Newton, Laplace, Biot besteht das Licht aus Projektilen, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortbewegen; für Huygens, Young, Fresnel besteht das Licht in Schwingungen,

deren Wellen sich im Innern eines Äthers fortpflanzen; die zwei Hypothesen sind die einzigen, die man für möglich hält; die Bewegung wird also entweder durch den Körper, der sie besitzt und mit dem sie verbunden bleibt, fortgetragen oder sie geht von einem Körper zum anderen über. Gehen wir von der ersten Hypothese aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Wasser als in Luft bewegt; gehen wir von der zweiten aus, so ergibt sich, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt. Montieren wir den Foucaultschen Apparat und setzen wir den rotierenden Spiegel in Bewegung. Vor unseren Augen werden sich zwei leuchtende Streifen bilden, deren einer nicht gefärbt, deren anderer grün ist. Wenn der grünliche Streifen an der linken Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet dies, daß sich das Licht schneller in Wasser als in der Luft bewegt, d. h. die Undulationshypothese ist falsch. Wenn dagegen das grünliche Band an der rechten Seite des ungefärbten auftritt, so bedeutet das, daß sich das Licht schneller in Luft als in Wasser bewegt, d. h. daß die Emissionshypothese widerlegt ist. Wir sehen durch die Lupe, die dazu dient, die beiden leuchtenden Streifen zu prüfen und konstatieren, daß der grünliche Streifen an der rechten des ungefärbten auftritt. Die Debatte ist entschieden, das Licht ist nicht ein Körper, sondern eine sich im Äther fortpflanzende Schwingungsbewegung. Die Emissionshypothese hat zu leben aufgehört, die Undulationstheorie kann nicht mehr in Zweifel gezogen werden. Dieses experimentum crucis hat in der Tat einen neuen Glaubensartikel des wissenschaftlichen Credo festgelegt.

Was wir im vorigen Paragraphen ausgeführt, zeigt, wie sehr man sich täuschen würde, wenn man dem Experiment von Foucault eine so einfache Bedeutung und eine so entscheidende Tragweite zuschreiben wollte. Das Experiment von Foucault entscheidet nicht zwischen zwei Hypothesen, der der Emission und der der Undulation, sondern zwischen zwei theoretischen Gruppen, deren jede als Ganzes genommen werden muß, zwischen zwei vollständigen Systemen, der Optik von Newton und der Optik von Huygens.

Aber nehmen wir einen Augenblick an, daß in jedem dieser Systeme alles folgerichtig, alles von logischer Notwendigkeit sei mit Ausnahme einer einzigen Hypothese; nehmen wir demzufolge auch an, daß die Tatsachen, indem sie einem dieser beiden Systeme widersprechen, auch mit Sicherheit die einzig zweifelhafte Annahme, die es enthält, verwerfen. Ergibt sich nun aber daraus, ebenso wie in der Geometrie, in der man, wenn man einen geometrischen Lehrsatz ad absurdum führt, die Gewißheit des widersprechenden erhält, daß man auch im experimentum crucis ein unwiderlegliches Verfahren besitzt, um eine der beiden vorliegenden Hypothesen in eine bewiesene Wahrheit zu verwandeln? Neben zwei Theoremen der Geometrie, die einander widersprechen, gibt es keinen Platz für ein drittes Urteil; wenn eines falsch ist, ist das andere notwendigerweise richtig. Bilden zwei physikalische Hypothesen jemals einen derartig strengen Doppelschluß? Würden wir jemals zu behaupten wagen, daß keine andere Hypothese denkbar sei? Das Licht kann ein Schwarm von Projektilen, es kann eine Schwingungsbewegung, deren Wellen sich in einem elastischen Medium fortpflanzen, sein; ist es ihm deshalb verboten, irgend etwas beliebig anderes zu sein? Arago meinte das ohne Zweifel, als er die folgende entscheidende Alternative formulierte: Bewegt sich das Licht schneller in Wasser als in Luft? „Das Licht ist ein Körper. Besteht das Gegenteil? Das Licht ist eine Welle“[1]). Uns wäre es aber schwierig, uns in ebenso entscheidender Form auszudrücken. Maxwell hat uns in der Tat gezeigt, daß man das Licht ebensogut einer periodischen elektrischen Störung, die sich im Innern eines dielektrischen Mediums fortpflanzt, zuschreiben kann.

Der experimentelle Widerspruch ermöglicht es uns nicht — wie das von den Geometern verwendete ad-absurdum-Führen — eine physikalische Hypothese in eine unbestreitbare Wahrheit zu verwandeln. Um ihr dies zu ermöglichen,

[1]) Im Original: „La lumière est un corps. Le contraire a-t-il lieu? La lumière est une ondulation.“

müßte man alle verschiedenen Hypothesen aufzählen, die bei einer bestimmten Gruppe von Erscheinungen auftreten können. Der Physiker ist nun niemals sicher, alle denkbaren Annahmen erschöpft zu haben. Die Wahrheit einer physikalischen Theorie kann nicht nach Kopf und Wappen entschieden werden.

§ 4. — Kritik der Newtonschen Methode. — Erstes Beispiel: Die Mechanik des Himmels.

Es ist illusorisch, mit Hilfe des experimentellen Widerspruches eine Argumentation, die das ad-absurdum-Führen nachahmt, konstruieren zu wollen. Aber die Geometrie kennt, um zur Gewißheit zu gelangen, noch andere Mittel, als den Weg per absurdum. Der direkte Beweis, bei dem die Wahrheit eines Lehrsatzes durch ihn selbst und nicht durch die Widerlegung des widersprechenden Lehrsatzes dargetan wird, erscheint ihr als der vollkommenste Gedankengang. Vielleicht wäre die physikalische Theorie in ihren Bemühungen glücklicher, wenn sie versuchte, den direkten Beweis nachzuahmen. Die Hypothesen, aus denen sie ihre Schlüsse ableitet, müßten dann Stück für Stück bewiesen werden. Jede von ihnen müßte akzeptiert werden, wie wenn sie die vollständige Gewißheit, die die experimentelle Methode einem abstrakten und allgemeinen Satz verleihen kann, darstellte. Das heißt, sie wäre notwendigerweise entweder ein Gesetz, das aus der Beobachtung auf Grund der zwei intellektuellen Operationen, die man Induktion und Generalisation nennt, abgeleitet, oder auch ein mathematisches Korollar, das aus solchen Gesetzen deduziert wurde. Eine auf solchen Hypothesen begründete Theorie würde nichts Willkürliches, nichts Zweifelhaftes besitzen, sie würde das ganze Vertrauen verdienen, dessen die Hilfsmittel, die uns zur Formulierung der Naturgesetze dienen, würdig sind.

So ist jene physikalische Theorie beschaffen, die Newton pries, als er im Scholium generale, das das Werk über die Prinzipien krönt, jede Hypothese, die die Induktion nicht

aus der Erfahrung abgeleitet, so entschieden aus den Grenzen der Naturwissenschaft verwies, als er behauptete, daß in der gesunden Physik jeder Lehrsatz aus den Erscheinungen abgeleitet und durch die Induktion verallgemeinert werden müsse.

Die ideale Methode, die wir eben beschrieben, verdient daher ganz mit Recht den Namen Newtonsche Methode. Hat Newton nicht überdies, als er das System der allgemeinen Anziehung aufstellte, anknüpfend an seine Vorschriften das großartigste Beispiel derselben gegeben? Ist seine Theorie der Gravitation nicht vollständig aus den Gesetzen, die Kepler durch Beobachtung fand, Gesetzen, die die Überlegung umformt und deren Konsequenzen die Induktion verallgemeinert, abgeleitet?

Das erste Keplersche Gesetz: „Der Radius vector, der von der Sonne zu einem Planeten führt, überstreicht eine Fläche, die proportional der Zeit ist, während welcher man die Bewegung beobachtet", hat in der Tat Newton gelehrt, daß jeder Planet konstant einer gegen die Sonne gerichteten Kraft unterworfen ist.

Das zweite Keplersche Gesetz: „Die Bahn jedes Planeten ist eine Ellipse, deren Brennpunkt die Sonne ist", lehrte ihn, daß die Kraft, die auf einen bestimmten Planeten wirkt, mit dem Abstand desselben von der Sonne variiere und im umgekehrten Verhältnis des Quadrates dieses Abstandes stehe.

Das dritte Keplersche Gesetz: „Die Quadrate der Umlaufszeiten der verschiedenen Planeten sind proportional den Kuben der großen Achsen ihrer Bahnen" zeigte ihm, daß wenn verschiedene Planeten in den gleichen Abstand von der Sonne gebracht würden, sie von seiten dieses Gestirnes Anziehungen erfahren würden, die proportional ihren Massen sind.

Die durch Kepler experimentell erwiesenen, durch die mathematische Überlegung umgeformten Gesetze lehren alle Kennzeichen der Wirkung, die die Sonne auf einen Planeten ausübt, kennen; durch Induktion generalisiert Newton das erhaltene Resultat; er nimmt an, daß dieses Resultat das Ge-

setz ausdrücke, nach dem jede beliebige Menge Materie auf eine beliebige andere Materie wirkt, und formuliert folgendes großes Prinzip: „Zwei beliebige Körper ziehen sich gegenseitig mit einer Kraft an, die proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihres Abstandes ist". Das Prinzip der allgemeinen Gravitation ist gefunden; er hatte es, ohne daß er von einer fiktiven Hypothese Gebrauch gemacht, durch die induktive Methode, deren Richtlinien er gezeichnet, erhalten.

Nehmen wir diese Anwendung der Newtonschen Methode etwas näher vor. Sehen wir, ob eine etwas strengere, logische Analyse den Schein der Strenge und Einfachheit, den diese allzusummarische Darstellung erzeugt, bestehen läßt.

Um dieser Diskussion alle nötige Klarheit zu sichern, beginnen wir mit der Erinnerung an folgendes Prinzip, das jedem, der sich mit der Mechanik beschäftigt, geläufig ist: Man kann nicht von der Kraft, die auf einen Körper unter gegebenen Umständen wirkt, sprechen, bevor man nicht den Punkt bezeichnet hat, der als fest angenommen wird, auf den man die Bewegung des Körpers bezieht; wenn man diesen Beziehungspunkt ändert, ändert auch die Kraft, die die auf den beobachteten Körper von den anderen ihn umgebenden ausgeübte Wirkung darstellt, ihre Richtung und Größe nach gewissen Regeln, die die Mechanik mit Genauigkeit ausspricht.

Nachdem wir das festgestellt, folgen wir den Überlegungen Newtons.

Newton nimmt im Anfang die Sonne als unbeweglichen Vergleichspunkt an. Er betrachtet die Bewegungen, die die verschiedenen Planeten besitzen, in Bezug auf diesen Punkt. Er nimmt an, daß diese Bewegungen den Keplerschen Gesetzen gehorchen und leitet aus ihnen folgenden Lehrsatz ab: „Wenn die Sonne der Beziehungspunkt für alle Kräfte ist, ist jeder Planet einer gegen die Sonne gerichteten Kraft unterworfen, die proportional der Masse des Planeten und umgekehrt proportional dem Quadrat seines Abstandes von der Sonne ist.

Was dieses Gestirn betrifft, so ist es, indem es als Beziehungspunkt gewählt wird, keiner Kraft unterworfen.

Newton studiert in analoger Weise die Bewegung der Satelliten, und für jeden von ihnen wählt er als unbeweglichen Beziehungspunkt den Planeten, den der Satellit begleitet, die Erde, wenn es sich um das Studium der Bewegung des Mondes handelt, den Jupiter, wenn ihn die Trabanten desselben beschäftigen. Gesetze, die den Keplerschen vollständig gleichen, werden als Regeln dieser Bewegungen angenommen. Aus ihnen ergibt sich, daß man folgenden neuen Lehrsatz formulieren kann: „Wenn man als unbeweglichen Beziehungspunkt den Planeten, den ein Satellit begleitet, annimmt, so ist dieser Satellit einer gegen den Planeten gerichteten Kraft unterworfen, die in umgekehrtem Verhältnis des Quadrates seines Abstandes vom Planeten wächst. Wenn, wie es bei Jupiter der Fall ist, derselbe Planet mehrere Satelliten besitzt, so würden sie, wenn sie in die gleiche Entfernung von ihm gebracht würden, Kräften unterliegen, die proportional ihren Massen sind. Der Planet selbst erfährt keinerlei Wirkung von seiten des Satelliten."

Dies sind in sehr präziser Form die Lehrsätze, deren Aufstellung die Keplerschen Gesetze über die Planetenbewegungen und die Ausdehnung derselben auf die Bewegung der Satelliten ermöglichen. An Stelle dieser Lehrsätze setzt Newton einen anderen, der folgendermaßen ausgesprochen werden kann: „Zwei beliebige Himmelskörper üben aufeinander eine Anziehungskraft aus, die die Richtung der Geraden, welche sie verbindet, besitzt, proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung ist. Dieser Ausdruck setzt voraus, daß alle Bewegungen und alle Kräfte auf den gleichen Beziehungspunkt bezogen seien. Dieser Punkt ist ein ideales Zeichen, das der Mathematiker recht wohl begreifen kann, dessen Lage am Himmel aber kein Körper in genauer und konkreter Weise bestimmt."

Ist dieses Prinzip der allgemeinen Gravitation eine einfache Generalisation der zwei Ausdrücke, die die Keplerschen Gesetze und deren Ausdehnung auf die Satellitenbewegungen

geliefert haben? Kann die Induktion es aus diesen beiden Ausdrücken ableiten? Keineswegs. In der Tat ist es nicht nur allgemeiner, als diese beiden Ausdrücke, es ist nicht nur verschieden, sondern es steht in direktem Widerspruch zu ihnen. Wenn der Mechaniker das allgemeine Anziehungsprinzip anerkennt, kann er die Größe und Richtung der Kräfte, die auf die verschiedenen Planeten und die Sonne wirken, berechnen, wobei er letztere als Beziehungspunkt nimmt. Er findet dann, daß diese Kräfte keineswegs diejenigen sind, die unser erster Ausdruck verlangen würde. Er kann die Größe und Richtung jeder der Kräfte, die auf Jupiter und seine Satelliten wirken, bestimmen, unter der Annahme, daß alle Bewegungen auf den als unbeweglich vorausgesetzten Planeten bezogen seien. Er konstatiert, daß diese Kräfte nicht so sind, wie es unser zweiter Ausdruck erfordern würde.

Das Prinzip der allgemeinen Gravitation kann daher keineswegs durch Generalisation und Induktion aus den Beobachtungstatsachen, die Kepler formuliert hatte, abgeleitet werden, es widerspricht vielmehr in aller Form diesen Gesetzen. Wenn die Theorie von Newton richtig ist, sind die Keplerschen Gesetze notwendigerweise falsch.

Es sind daher nicht die Gesetze, die Kepler aus der Beobachtung der Himmelserscheinungen abgeleitet hat, die ihre experimentelle Sicherheit auf das Prinzip der allgemeinen Schwere übertragen, da man im Gegenteil, wenn man die absolute Richtigkeit der Keplerschen Gesetze annimmt, gezwungen wäre, den Lehrsatz, auf den Newton die Mechanik des Himmels aufbaut, zu verwerfen. Anstatt sich auf die Keplerschen Gesetze berufen zu können, findet der Physiker, der die Theorie der allgemeinen Gravitation rechtfertigen will, vor allem in diesen Gesetzen ein Hindernis, das überwunden werden muß. Er muß beweisen, daß seine Theorie, die mit der Richtigkeit dieser Gesetze unvereinbar ist, die Bewegungen der Planeten und Satelliten anderen Gesetzen unterwirft, die so wenig von den ersteren verschieden sind, daß Tycho-Brahe, Kepler und ihre Zeitgenossen die Abstände der Keplerschen

und Newtonschen Bahnen nicht zu unterscheiden vermocht hätten. Dieser Beweis kann aus dem Umstand, daß die Masse der Sonne sehr beträchtlich gegenüber den Massen der verschiedenen Planeten und die Masse eines Planeten sehr beträchtlich gegenüber den Massen seiner Satelliten ist, abgeleitet werden.

Wie kann daher die Newtonsche Theorie, wenn sich deren Gewißheit nicht aus der der Keplerschen Gesetze ergibt, als gültig bewiesen werden. Man wird aus ihr mit einer Annäherung, wie sie den stets verbesserten algebraischen Methoden entspricht, die Störungen berechnen, um die in jedem Augenblick jedes der Gestirne von der Bahn, die ihm gemäß den Keplerschen Gesetzen vorgezeichnet wäre, abweicht. Sodann wird man die berechneten Störungen mit den Störungen, die mit Hülfe der genauesten Instrumente und der präzisesten Methoden beobachtet wurden, vergleichen. Ein derartiger Vergleich wird nicht nur über diesen oder jenen Teil des Newtonschen Prinzipes handeln, sondern alle Teile desselben auf einmal in Betracht ziehen, und ebenso auch aber alle Prinzipien der Dynamik. Außerdem wird er alle Lehrsätze der Optik, der Statik der Gase, der Wärmetheorie zu Hilfe nehmen, die nötig sind, um die Eigenschaften der Teleskope festzustellen, um sie zu konstruieren, zu justieren, zu korrigieren, um die durch die tägliche und jährliche Aberration und durch die atmosphärische Refraktion verursachten Fehler zu eliminieren. Es handelt sich nicht mehr darum, die durch Beobachtung festgestellten Gesetze Stück für Stück zu nehmen und jedes derselben durch Induktion und Generalisation zum Range eines Prinzips zu erheben, sondern es handelt sich vielmehr darum, die Folgesätze einer ganzen Gruppe von Hypothesen mit einer ganzen Gruppe von Tatsachen zu vergleichen.

Wenn wir nun die Ursachen suchen, die die Newtonsche Methode in dem Falle scheitern ließen, für den sie ersonnen wurde, und als dessen vollkommenste Anwendung sie erschien, finden wir sie in den zwei Kennzeichen, die jedes von der theoretischen Physik verwendete Gesetz besitzt: Ein solches Gesetz ist symbolisch und angenähert.

Ohne Zweifel handeln die Keplerschen Gesetze direkt von den eigentlichen Objekten der astronomischen Beobachtung. Sie sind so wenig symbolisch, wie nur möglich. Aber in dieser rein experimentellen Form können sie nicht zur Aufstellung des Prinzips der allgemeinen Schwere führen. Damit sie diese Fruchtbarkeit erlangen, müssen sie umgeformt werden, müssen sie die Eigenschaften der Kräfte, mit denen die Sonne die verschiedenen Planeten anzieht, kennen lehren.

Diese neue Form der Keplerschen Gesetze ist nun eine symbolische Form. Die Dynamik allein gibt den Worten Kraft und Masse, die dazu dienen, sie auszudrücken, einen Sinn. Die Dynamik allein ermöglicht es, die alten, realistischen Formeln, durch die neuen symbolischen, die Gesetze bezüglich der Bahnen durch Ausdrücke bezüglich der Kräfte und Massen zu ersetzen. Die Berechtigung einer derartigen Substitution setzt volles Vertrauen zu den Gesetzen der Dynamik voraus.

Um dieses Vertrauen zu rechtfertigen, wollen wir nicht behaupten, daß die Gesetze der Dynamik, im Augenblick, als Newton von ihnen Gebrauch machte, um die Keplerschen Gesetze zu symbolisieren, außer allem Zweifel standen, daß sie durch das Experiment Bestätigungen erfahren haben, die hinreichend sind, um die Zustimmung der Vernunft herbeizuführen. In Wirklichkeit wurden sie bis dahin nur recht speziellen und recht groben Prüfungen unterworfen. Ihre eigenen Ausdrücke waren recht unsicher und verschwommen geblieben. Erst im Werke über die Prinzipien wurden sie zum ersten Male in scharfer Weise formuliert. In der Übereinstimmung der Tatsachen mit der Mechanik des Himmels, die aus den Werken Newtons stammte, fanden sie ihre ersten, überzeugenden Verifikationen.

So setzte die Übertragung der Keplerschen Gesetze in symbolische, die allein für die Theorie dienlich sein können, von vornherein die Zustimmung des Physikers zu einer ganzen Gruppe von Hypothesen voraus. Aber noch mehr. Da die Keplerschen Gesetze nur angenähert sind, ermöglicht die Dynamik von ihnen eine Unzahl symbolischer Übertragungen zu

liefern. Unter diesen verschiedenen, ungezählten Formen gibt es eine, und nur eine, die mit dem Newtonschen Prinzip übereinstimmt. Die Beobachtungen von Tycho-Brahe, die von Kepler in so glücklicher Weise als Gesetze formuliert wurden, ermöglichen es dem Theoretiker, diese Form zu suchen, aber sie drängen sie ihm nicht auf, sie hätten es ihm ebenso gut ermöglicht, eine Unzahl anderer zu wählen.

Der Theoriker kann sich daher nicht begnügen, zur Rechtfertigung seiner Wahl die Keplerschen Gesetze heranzuziehen. Wenn er beweisen will, daß das Prinzip, das er sich zu eigen machte, wirklich ein Prinzip der naturgemäßen Klassifikation der Bewegungen am Himmel sei, muß er zeigen, daß die beobachteten Störungen mit den im voraus berechneten übereinstimmen. Er muß aus der Bahn des Uranus auf die Existenz und Lage eines neuen Planeten schließen und in der angezeigten Richtung Neptun in seinem Teleskop erscheinen sehen.

§ 5. — Kritik der Newtonschen Methode (Fortsetzung). — Zweites Beispiel: Die Elektrodynamik.

Nach Newton hat niemand deutlicher als Ampère erklärt, daß jede physikalische Theorie allein durch Induktion aus dem Experiment abgeleitet werden müsse. Kein Werk hat sich enger an die Philosophiae naturalis Principia mathematica angeschmiegt, als die Théorie mathématique des Phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience.

„Die Epoche, deren Kennzeichen in der Geschichte der Wissenschaft die Arbeiten Newtons bilden, ist nicht nur die der bedeutendsten Entdeckung, die der Mensch jemals über die Ursachen der großen Erscheinungen in der Natur gemacht, sondern sie ist auch die Epoche, in der der menschliche Geist sich einen neuen Weg in die Wissenschaften, deren Aufgabe das Studium dieser Erscheinungen ist, gebahnt hat". Mit diesen Zeilen beginnt Ampère seine Darlegungen in der Théorie mathématique. Er fährt folgendermaßen fort:

„Newton war weit davon entfernt, zu denken", daß das Gesetz der allgemeinen Schwere „hätte entdeckt werden können, wenn man von abstrakten, mehr oder minder einleuchtenden Betrachtungen ausgegangen wäre. Er stellte fest, daß es aus den beobachteten Tatsachen oder vielmehr aus solchen empirischen Gesetzen, die wie die Keplerschen nur generalisierte Resultate einer großen Anzahl von Tatsachen sind, abgeleitet werden müsse".

„Der Weg den Newton ging, war folgender: Zuerst wurden die Tatsachen beobachtet und deren Bedingungen, soweit als irgend möglich, variiert; bei dieser ersten Arbeit werden genaue Messungen angestellt, um aus ihnen allgemeine, einzig auf die Erfahrung gegründete Gesetze und sodann aus diesen Gesetzen unabhängig von jeder Hypothese über die Natur der Kräfte, die die Phänomene erzeugen, die mathematische Größe derselben, d. h. die Formel, die sie darstellen, abzuleiten. Diese Methode wurde allgemein in Frankreich von den Gelehrten, denen die Physik jene immensen Fortschritte, die sie in der letzten Zeit gemacht hat, verdankt, angewendet und sie diente auch mir als Führer in allen meinen Untersuchungen über die elektrodynamischen Erscheinungen. Ich hielt mich einzig an das Experiment, um die Gesetze dieser Erscheinungen aufzustellen und aus ihnen habe ich die Formel, die die Kräfte, aus denen sie entspringen, allein darstellen kann, abgeleitet. Ich habe keine Untersuchung über die eigentliche Ursache, die man diesen Kräften zuschreiben kann, ausgeführt, da ich fest überzeugt bin, daß jeder Untersuchung dieser Art die rein experimentelle Kenntnis der Gesetze und die Bestimmung des Wertes der Elementarkraft, die einzig aus diesen Gesetzen abgeleitet werden kann, vorausgehen muß".

Man hat weder eine sehr aufmerksame noch sehr tiefgehende Kritik nötig, um zu erkennen, daß die mathematische Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen in keiner Weise gemäß der Methode, die Ampère ihr vorzeichnet, verfährt, daß sie nicht einzig aus der Erfahrung abgeleitet sei. Die Tatsachen des Experimentes wären, roh, wie sie von Natur aus sind, nicht der mathematischen Behandlung

zugänglich gewesen. Um diese Behandlung zu ermöglichen, müssen sie umgebildet und in symbolische Form gebracht werden. Dieser Umbildung hat Ampère sie unterworfen. Er begnügt sich nicht, die Apparate aus Metall, in denen die Ströme fließen auf einfache geometrische Figuren zu reduzieren. Eine derartige Versinnbildlichung drängt sich zu natürlich auf, um Gelegenheit zu einem ernsten Zweifel zu geben. Er begnügt sich auch nicht, den der Mechanik entlehnten Begriff der Kraft und die verschiedenen Theoreme, die diese Wissenschaft bilden, zu verwenden. In der Epoche, in der er schrieb, konnten diese Theoreme als über jeden Zweifel erhaben angesehen werden. Er macht überdies von einer ganzen Gruppe vollständig neuer, vollständig willkürlicher Hypothesen, von denen manche sogar ein wenig überraschend sind, Gebrauch. In erster Linie muß man unter diesen Hypothesen die intellektuelle Operation erwähnen, durch die er den elektrischen Strom, der in Wirklichkeit nicht gebrochen werden könnte, ohne daß er zu existieren aufhört, in unendlich kleine Elemente zerlegt. Sodann die Annahme, daß alle wirklichen elektrodynamischen Wirkungen sich in fingierte Wirkungen auf die Paare, die je zwei Stromelemente bilden, zerlegen lassen. Sodann das Postulat, daß die wechselseitigen Wirkungen von zwei Elementen sich auf zwei Kräfte zurückführen lassen, die an den Elementen angreifen, die Richtung von deren Verbindungsgeraden besitzen, einander gleich und entgegengesetzt sind. Sodann jenes andere Postulat, daß der Abstand der beiden Elemente in der Formel für ihre Wechselwirkung bloß im Nenner und zu einer bestimmten Potenz erhoben, auftrete.

Diese verschiedenen Annahmen sind so wenig augenscheinlich, so wenig zwingend, daß mehrere von ihnen von den Nachfolgern Ampères kritisiert oder verworfen wurden. Andere Hypothesen, die ebenso geeignet sind die fundamentalen Experimente der Elektrodynamik auszudrücken, wurden von anderen Physikern vorgeschlagen. Aber keinem von ihnen gelang es, einen solchen Ausdruck zu geben, ohne ein neues Postulat zu formulieren; dies zu verlangen wäre auch absurd.

Die Notwendigkeit für den Physiker, die experimentellen

Tatsachen symbolisch auszudrücken, bevor er sie in seine Überlegungen einführt, macht den rein induktiven Weg, den Ampère vorgezeichnet hat, für ihn unbrauchbar. Dieser Weg ist ihm ebenso deshalb verboten, weil keines der beobachteten Gesetze genau, sondern jedes nur angenähert ist.

Die Annäherung der Ampèreschen Experimente ist eine sehr grobe. Er gibt von den beobachteten Tatsachen eine symbolische Übertragung, die für den Ausbau seiner Theorie geeignet ist. Aber wie leicht wäre es ihm gewesen, die Ungenauigkeit der Beobachtungen zu benützen, um von ihr eine ganz andere Übertragung zu geben! Hören wir Wilhelm Weber[1]):

„Ampère hat seine mathematische Theorie der elektrodynamischen Erscheinungen in der Überschrift seiner Abhandlung als einzig aus der Erfahrung abgeleitet, bezeichnet, und man findet in der Abhandlung selbst die sinnreiche einfache Methode ausführlich entwickelt, welche er zu diesem Zwecke angewandt hat. Man findet darin die von ihm gewählten Versuche und ihre Bedeutung für die Theorie ausführlich erörtert und die Instrumente zu ihrer Ausführung genau und vollständig beschrieben; doch fehlt es an einer genauen Beschreibung der Versuche selbst. Bei solchen Fundamentalversuchen genügt es aber nicht, den Zweck derselben anzugeben und die Instrumente zu beschreiben, womit sie gemacht werden, und im allgemeinen bloß die Versicherung beizufügen, daß sie von dem erwarteten Erfolge begleitet gewesen seien, sondern es ist auch nötig, in das Detail der Versuche selbst genauer einzugehen und anzugeben, wie oft jeder Versuch wiederholt, welche Abänderungen gemacht worden, und welchen Einfluß letztere gehabt haben, kurz, protokollmäßig alle Data mitzuteilen, welche zur Begründung eines Urteils über den Grad der Sicherheit oder Gewißheit des Resultates beitragen. Solche nähere Angaben über die Versuche hat Ampère nicht mitgeteilt, und es mangeln dieselben auch

[1]) Wilhelm Weber: Elektrodynamische Maaßbestimmungen, Leipzig, 1846, p. 6—7.

jetzt noch zur Vervollständigung eines direkten tatsächlichen Beweises der elektrodynamischen Fundamentalgesetze. Die Tatsache der Wechselwirkung der Leitungsdrähte im allgemeinen ist zwar durch häufig wiederholte Versuche außer Zweifel gesetzt; aber nur mit solchen Mitteln und unter solchen Umständen, wo an keine quantitativen Bestimmungen gedacht werden konnte, geschweige, daß diese Bestimmungen eine Schärfe erreicht hätten, welche notwendig ist, um das Gesetz jener Erscheinungen als erfahrungsmäßig bewiesen zu betrachten".

„Nun hat zwar Ampère häufiger von dem Ausbleiben elektrodynamischer Wirkungen, welches er beobachtet hatte, eine ähnliche Anwendung gemacht, wie von Messungen, die das Resultat = 0 ergeben hätten, und hat durch diesen Kunstgriff mit großem Scharfsinne und vieler Geschicklichkeit die notwendigsten Grunddata und Prüfungsmittel für seine theoretischen Kombinationen zu gewinnen gesucht, was in Ermangelung besserer Data nicht anders möglich war; solchen negativen Erfahrungen, wenn sie auch einstweilen die Stelle mangelnder positiver Messungsresultate vertreten müssen, kann aber," da bei diesen Experimenten, alle passiven Widerstände, alle Reibungen, alle Fehlerquellen präzise auf Erzeugung der Erscheinung, die man zu beobachten wünscht, hinwirken, „keineswegs der ganze Wert und die volle Beweiskraft zugeschrieben werden, welche die letzteren besitzen, wenn sie nicht selbst mit solchen Hilfsmitteln und unter solchen Verhältnissen gewonnen worden sind, mit denen und unter welchen auch wahre Messungen sich ausführen lassen, was mit den von Ampère gebrauchten Instrumenten nicht möglich war".

Bei so wenig genauen Experimenten bleibt dem Physiker die Sorge überlassen, unter einer Unzahl gleich gut möglicher symbolischer Übersetzungen zu wählen. Sie bedingen keineswegs eine bestimmte Wahl und sie verleihen dieser auch keine Gewißheit. Einzig die Intuition, die zu der Form der aufzustellenden Theorie rät, leitet diese Wahl. Diese Rolle der Intuition ist besonders in dem Werke Ampères wichtig.

Es genügt die Schriften dieses großen Mathematikers durchzublättern, um zu erkennen, daß seine fundamentale Formel der Elektrodynamik vollständig durch eine Art Sehergabe gefunden wurde, daß die Experimente, auf die er sich beruft, nachträglich ersonnen und gerade deshalb kombiniert wurden, um gemäß der Newtonschen Methode eine Theorie, die tatsächlich auf Grund einer Serie von Postulaten aufgestellt wurde, darstellen zu können.

Ampère war übrigens zu aufrichtig, um wissentlich zu verhehlen, daß seine einzig aus der Erfahrung abgeleitete Auseinandersetzung etwas Künstliches habe. Am Ende seiner Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques schreibt er die folgenden Zeilen: „Ich glaube am Schluß dieser Abhandlung erwähnen zu müssen, daß ich noch nicht Zeit hatte, die in der Figur 4 der ersten Tafel und in der Figur 20 der zweiten Tafel dargestellten Instrumente zu konstruieren. Die Experimente, für die sie bestimmt sind, wurden daher noch nicht ausgeführt". Der erste der beiden Apparate nun, von denen hier die Rede ist, hatte den Zweck, den letzten der vier fundamentalen Fälle des Gleichgewichts, die als Säulen des Gebäudes von Ampère dienten, zu verwirklichen. Mit Hilfe jenes Experimentes, für das dieser Apparat bestimmt war, sollte die Potenz des Abstandes, nach dem die elektrodynamischen Wirkungen vor sich gehen, festgestellt werden. Die elektrodynamische Theorie von Ampère ist daher keineswegs einzig aus der Erfahrung abgeleitet worden, sondern das Experiment hatte im Gegenteil nur einen sehr geringen Anteil an deren Ausbildung. Es war bloß die Gelegenheit, die die Intuition des genialen Physikers wachrief und diese Intuition tat das übrige.

Durch die Untersuchungen von Wilhelm Weber wurde die vollständig intuitive Theorie Ampères zum erstenmal einer eingehenden Prüfung an den Tatsachen unterworfen. Aber diese Prüfung wurde keineswegs auf Grund der Newtonschen Methode durchgeführt. Aus der in ihrer Gänze genommenen Theorie Ampères deduzierte Weber gewisse, der Rechnung zu-

gängliche Wirkungen. Die Theoreme der Statik und der Dynamik, zu denen sogar noch gewisse Lehrsätze der Optik kamen, ermöglichten ihm einen Apparat, das Elektrodynamometer zu ersinnen, durch den dieselben Wirkungen präzisen Messungen unterworfen werden können. Die Übereinstimmung der Voraussagungen der Rechnung mit den Resultaten der Messungen bestätigt nun nicht diesen oder jenen isolierten Lehrsatz der Theorie von Ampère, sondern die ganze Gruppe elektrodynamischer, mechanischer und optischer Hypothesen, auf die man sich bei der Interpretation eines jeden der Weberschen Experimente berufen muß.

Somit ist dort, wo Newton scheiterte, Ampère noch heftiger auf den Grund geraten. Das kommt daher, daß zwei unausweichliche Klippen den rein induktiven Weg für den Physiker ungangbar machen. In erster Linie kann kein experimentelles Gesetz dem Theoretiker dienen, bevor es einer Interpretation, die es in ein symbolisches Gesetz umbildet, unterworfen wurde. Diese Interpretation schließt nun die Anerkennung einer ganzen Gruppe von Theorien in sich. In zweiter Linie ist kein experimentelles Gesetz genau. Ein jedes ist nur angenähert und daher eine Unzahl verschiedener symbolischer Übersetzungen möglich. Unter allen diesen Übersetzungen muß der Physiker diejenige wählen, die der Theorie eine fruchtbare Hypothese liefert, ohne daß das Experiment irgendwie seine Wahl leiten würde.

Diese Kritik der Newtonschen Methode führt uns auf Schlußfolgerungen zurück, auf die wir schon bei der Kritik des experimentellen Widerspruches und des Experimentum crucis gekommen waren. Diese Schlußfolgerungen verdienen, daß wir sie mit aller Klarheit formulieren. Es sind folgende:

Man jagt einer Chimäre nach, wenn man irgend eine der Hypothesen der theoretischen Physik von den anderen Annahmen, auf denen diese Wissenschaft ruht, zu trennen sucht, um sie isoliert der Kontrolle der Beobachtung zu unterwerfen; es schließt nämlich die Verwirklichung und Interpretation jedes beliebigen

Experimentes der Physik die Anerkennung einer ganzen Gruppe theoretischer Lehrsätze in sich.

Die einzige experimentelle Kontrolle der physikalischen Theorie, die nicht unlogisch ist, besteht in dem Vergleich DES VOLLSTÄNDIGEN SYSTEMES DER PHYSIKALISCHEN THEORIE MIT DER GANZEN GRUPPE EXPERIMENTELLER TATSACHEN und in der Feststellung, ob diese durch jene in befriedigender Weise dargestellt wird.

§ 6. — Konsequenzen in bezug auf den physikalischen Unterricht.

Im Gegensatz zu dem, was wir uns darzulegen bemüht haben, nimmt man im allgemeinen an, daß jede Hypothese der Physik aus der Gesamtheit getrennt und isoliert der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden könne. Natürlich leitet man aus diesem irrtümlichen Prinzip falsche Konsequenzen in bezug auf die Methode des physikalischen Unterrichtes ab. Man wünscht, daß der Lehrer alle Hypothesen der Physik in eine bestimmte Ordnung bringe; daß er die erste nehme, deren Formulierung angebe, deren experimentelle Bestätigungen aufzeige und sodann, wenn diese Bestätigungen als hinreichend erkannt wurden, die Hypothese als akzeptiert bezeichne. Ja, noch mehr, man wünscht, daß er diese erste Hypothese auf Grund induktiver Generalisation eines rein experimentellen Gesetzes formuliere. Er würde diese Operation bei der zweiten Hypothese, ebenso der dritten usw. zu wiederholen haben, bis die Physik vollständig dargestellt wäre. Man würde die Physik ebenso lehren können, wie man die Geometrie lehrt. Die Hypothesen würden einander ebenso wie die Theoreme folgen. Die experimentelle Prüfung jeder Annahme würde den Beweis eines jeden Lehrsatzes ersetzen. Man würde kein Ergebnis erhalten, welches nicht aus den Tatsachen abgeleitet ist oder nicht ohne weiters durch die Tatsachen gerechtfertigt werden könnte.

So ist das Ideal beschaffen, das sich viele Professoren setzen, das manche vielleicht glauben erreicht zu haben. Es

fehlt nicht an gewichtigen Stimmen, die sie zur Verfolgung dieses Ideales anspornen. „Es ist wichtig," sagt Hr. H. Poincaré[1]), „die Hypothesen nicht übermäßig zu vervielfältigen und sie einzeln nacheinander aufzustellen. Wenn wir eine, auf vielfache Hypothesen gegründete Theorie bilden, welche unter unsern Prämissen muß dann notwendigerweise geändert werden, wenn das Experiment die Theorie widerlegt? Das zu wissen, ist unmöglich. Und umgekehrt, wenn das Experiment gelingt, wird man dann glauben, alle Hypothesen auf einmal verifiziert zu haben? Wird man glauben, mit einer einzigen Gleichung mehrere Unbekannte bestimmt zu haben?"

Speziell die rein induktive Methode, deren Gesetze Newton formuliert hat, wird von vielen Physikern als die einzige Methode, die es ermöglicht, verstandesmäßig die Naturwissenschaft darzustellen, angesehen: „Die Lehre, die wir bringen werden", sagt Gustave Robin[2]) „wird nur eine Kombination einfacher, durch das Experiment gegebener Induktionen sein. Was diese Induktionen betrifft, so werden wir sie stets in leicht merkbaren Ausdrücken formulieren, die direkten Verifikationen zugänglich sind, wobei wir niemals außer Betracht lassen, daß eine Hypothese niemals durch ihre Konsequenzen verifiziert werden könne." Es ist jene Newtonsche Methode, die denjenigen, die die Aufgabe haben, die Physik in der Mittelschule zu unterrichten, empfohlen, wo nicht vorgeschrieben wird. „Die Methoden der mathematischen Physik im Mittelschulunterricht", wird ihnen gesagt[3]), „sind mangelhaft; sie gehen von a priori aufgestellten Hypothesen oder Definitionen aus, aus denen Deduktionen abgeleitet werden, die der Kontrolle des Experimentes unterworfen werden müssen. Diese Methode kann im Unterricht der speziellen Mathematik entsprechen, man hat aber unrecht, sie gegenwärtig in den Ele-

[1]) H. Poincaré: Science et Hypothèse, p. 179. [Deutsche Ausgabe, Leipzig 1906, p. 153.]

[2]) G. Robin: Oeuvres scientifiques, Thermodynamique générale. Introduction p. XII, Paris 1901.

[3]) Note sur une conférence de M. Joubert, inspecteur général de l'Enseignement secondaire. (L'Enseignement secondaire, 15. avril 1903.)

mentarkursen der Mechanik, der Hydrostatik, der Optik anzuwenden. Ersetzen wir sie durch die induktive Methode."

Die vorangehenden Erörterungen haben mehr als genügend folgende Wahrheit festgestellt: Die induktive Methode, deren Gebrauch man dem Physiker empfiehlt, ist für ihn ebenso unanwendbar, wie für den Mathematiker jene vollkommen deduktive Methode, die darin besteht, alles zu definieren und alles zu beweisen, jene Methode, in die sich gewisse Geometer zu verbeißen scheinen, obwohl Pascal an derselben vor langer Zeit gerechte und strenge Kritik geübt hat. Es ist daher wohl klar, daß diejenigen, die behaupten, nach dieser Methode die Reihe der physikalischen Prinzipien zu entwickeln, von derselben notwendigerweise eine Darstellung geben werden, die in irgend einem Punkte fehlerhaft ist.

Unter den Mängeln, die eine derartige Darstellung kennzeichnen, ist der häufigste und gleichzeitig wegen der falschen Ideen, die er in den Verstand der Schüler einpflanzt, auch der schwerste, das fingierte Experiment. Der Physiker, der genötigt ist, sich auf ein Prinzip zu berufen, das in Wirklichkeit keineswegs aus den Tatsachen abgeleitet wurde, das keineswegs durch Induktion entstand, und dem es dabei widerstrebt, dieses Prinzip für das auszugeben, was es ist, d. h. für ein Postulat, ersinnt ein Experiment, das, wenn es ausgeführt und gelungen wäre, zu dem Prinzip führen könnte, dessen Berechtigung dargetan werden soll.

Die Berufung auf ein derartiges fingiertes Experiment bedeutet, daß ein auszuführendes Experiment an Stelle eines ausgeführten gesetzt wird. Man rechtfertigt somit ein Prinzip nicht mit Hilfe der beobachteten Tatsachen, sondern mit Hilfe solcher, deren Realisierung man voraussagt. Und diese Voraussagung hat kein anderes Fundament, als den Glauben an das Prinzip, zu dessen Stütze man sich auf eben dieses Experiment beruft. Ein derartiges Beweisverfahren führt zu einem Circulus vitiosus, und derjenige, der es vorbringt, ohne hervorzuheben, daß das angegebene Experiment nicht ausgeführt wurde, begeht eine Unredlichkeit.

Manchmal würde das von dem Physiker beschriebene fingierte Experiment, wenn man es zu realisieren versuchen würde, kein irgendwie genaues Resultat ergeben. Die sehr unbestimmten und groben Wirkungen, die es hervorbringen würde, könnten ohne Zweifel mit dem zu rechtfertigenden Lehrsatz in Übereinstimmung gebracht werden, aber sie würden auch mit manchen andern, sehr verschiedenen Lehrsätzen in Übereinstimmung sein. Die Beweiskraft eines derartigen Experimentes wäre daher sehr schwach und der Bestätigung bedürftig. Das Experiment, das Ampère erdacht hat, um zu beweisen, daß die elektrodynamischen Wirkungen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vor sich gehen, das er aber nicht ausgeführt hat, ist ein schlagendes Beispiel eines solchen fingierten Experimentes.

Aber es kommt Schlimmeres vor. Recht häufig ist das fingierte Experiment, auf das man sich beruft, nicht nur unrealisiert, sondern unrealisierbar. Es setzt die Existenz eines Körpers voraus, den man in der Natur nicht antrifft, physikalische Eigenschaften, die niemals beobachtet wurden. So hat Gustave Robin[1]), um von den Prinzipien der chemischen Mechanik die von ihm gewünschte rein induktive Darstellung geben zu können, unter dem Namen Beweiskörper (corps temoins), Körper erschaffen, die durch ihre bloße Gegenwart fähig sind, eine chemische Reaktion in Gang zu bringen oder aufzuhalten; niemals hat die Beobachtung den Chemikern die Existenz derartiger Körper offenbart.

Das nicht realisierte Experiment, das absolut unrealisierbare Experiment, erschöpfen noch nicht die verschiedenen Formen, die das fingierte Experiment in den Schriften der Physiker, die die induktive Methode zu befolgen behaupten, annehmen kann. Es bleibt noch die Aufzeigung einer noch unlogischeren Form als die aller anderen übrig, das absurde Experiment. Dasselbe will einen Lehrsatz beweisen, der, wenn er als Ausdruck einer experimentellen Tatsache angesehen wird, einen Widerspruch aufweist.

[1]) Gustave Robin: Oeuvres scientifiques, Thermodynamique générale, p. II, Paris 1901.

Auch den scharfsinnigsten Physikern gelang es nicht immer, sich gegen das Auftreten des absurden Experimentes in ihren Darlegungen zu schützen. Führen wir zum Beispiel folgende, J. Bertrand[1]) entlehnte Zeilen an: „Wenn man als experimentelle Tatsache annimmt, daß sich die Elektrizität an der Oberfläche der Körper befinde, und als notwendiges Prinzip, daß die Wirkung der freien Elektrizität auf leitende Massenpunkte O sein müsse, so kann man, wenn diese beiden vorausgesetzten Bedingungen streng erfüllt sind, ableiten, daß die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung sind."

Nehmen wir folgenden Lehrsatz: „Es gibt, wenn elektrisches Gleichgewicht besteht, keine Elektrizität im Innern des leitenden Körpers" und fragen wir, ob es möglich sei, ihn als Ausdruck einer experimentellen Tatsache zu betrachten. Wägen wir genau den Sinn der Worte, die da auftreten und speziell den Sinn des Wortes Inneres, ab. Im Sinne, in dem man dieses Wort in diesem Lehrsatz verstehen muß, ist ein Punkt im Innern eines elektrisierten Kupferstückes, ein solcher, der sich im Innern der Kupfermasse befindet. Wie kann man demzufolge konstatieren, ob sich in dem Punkte Elektrizität befindet oder nicht? Man müßte dorthin einen Probekörper bringen; dazu müßte man vorher das Kupfer, welches sich dort befindet, wegnehmen. Aber dann wäre dieser Punkt nicht mehr im Innern der Kupfermasse; er wäre außerhalb dieser Masse. Man kann nicht, ohne in einen logischen Widerspruch zu verfallen, unseren Lehrsatz als Beobachtungsresultat auffassen.

Was ergeben daher die Experimente, durch die man diesen Lehrsatz zu beweisen vorgibt. Sicherlich etwas ganz anderes, als was man von ihnen behauptet. Man macht in einer leitenden Masse eine Höhlung und konstatiert, daß die Wände dieser Höhlung nicht elektrisiert seien. Diese Beobachtung beweist nichts bezüglich der An- oder Abwesenheit von Elektrizität in Punkten, die sich im Innern einer leitenden Masse befinden. Um von dem experimentell konstatierten Gesetz zu dem aus-

[1]) J. Bertrand: Leçons sur la Théorie mathématique de l'Électricité, p. 71. Paris, 1890.

gesprochenen überzugehen, spielt man mit dem Sinn des Wortes Inneres. Aus Furcht, die Elektrostatik auf ein Postulat zu stützen, stützt man sie auf ein Wortspiel.

Wir brauchten nur die Abhandlungen und Handbücher der Physik durchzublättern, um eine Menge fingierter Experimente aufzuzeigen. Wir würden in ihnen im Überfluß Beispiele der verschiedenen Formen, die ein derartiges Experiment annehmen kann, von dem einfach unrealisierten bis zu dem absurden, finden. Halten wir uns jedoch nicht mit dieser langweiligen Arbeit auf. Das, was wir gesagt haben, genügt zur Rechtfertigung folgender Schlußfolgerung: Der physikalische Unterricht nach der rein induktiven Methode, wie sie Newton formuliert hat, ist eine Chimäre. Derjenige, der behauptet, diese Chimäre erreichen zu können, narrt sich selbst und seine Schüler. Er gibt ihnen für gesehene blos vorausgesehene Tatsachen, für genaue Beobachtungen grobe Feststellungen, für realisierbare Verfahren rein ideale Experimente, für experimentelle Gesetze Lehrsätze, die nicht ohne Widerspruch als Ausdruck von Realitäten angenommen werden können. Die Physik, die er darlegt, ist eine falsche und verfälschte.

Möge daher der Lehrer auf diese ideale, induktive Methode, die von einer falschen Vorstellung ausgeht, verzichten. Möge er diese Art der Auffassung des Unterrichts in der experimentellen Wissenschaft, die deren wesentlichen Charakter entstellt und verdreht, zurückweisen. Wenn die Interpretation des kleinsten physikalischen Experimentes die Anwendung einer ganzen Gruppe von Theorien voraussetzt, wenn sogar die Beschreibung des Experimentes eine Menge abstrakter symbolischer Ausdrücke, deren Sinn die Theorien allein festlegen und deren Verbindung mit den Tatsachen sie allein kennzeichnen, erfordert, ist es wohl nötig, daß der Physiker sich entschließe, eine lange Kette von Hypothesen und Deduktionen zu entwickeln, bevor er den Versuch macht, den geringsten Vergleich zwischen dem theoretischen Gebäude und der konkreten Realität auszuführen. Auch wird er oft bei der Beschreibung der Experimente, die die bereits entwickelten Theorien verifizieren, auf Theorien, zu denen er erst gelangen wird, vorgreifen müssen. Er wird zum

Beispiel nicht die geringste experimentelle Bestätigung der Prinzipien der Mechanik auszuführen versuchen, bevor er nicht nur die Verkettung der Lehrsätze der allgemeinen Mechanik entwickelt, sondern auch die Grundlagen der Mechanik des Himmels skizziert hat. Auch muß er, indem er sich auf die Beobachtungen, welche diese Gruppe von Theorien bestätigen, bezieht, die Gesetze der Optik als bekannt voraussetzen, die allein den Gebrauch der astronomischen Instrumente rechtfertigen.

Möge daher der Lehrer in erster Linie die wesentlichen Theorien der Wissenschaft entwickeln. Ohne Zweifel ist es, wenn er die Hypothesen, auf denen diese Theorien ruhen, darstellt, nötig, daß er auf deren Annahme hinarbeite; es ist berechtigt, wenn er auf die Erfahrungen des alltäglichen Lebens, auf die durch gewöhnliche Beobachtung erhaltenen Tatsachen, auf die einfachen oder noch wenig analysierten Elemente, die zur Formulierung dieser Hypothese geführt haben, hinweist. Diesen Punkt werden wir übrigens noch im nächsten Kapitel ausführlich besprechen. Aber er muß ganz ausdrücklich betonen, daß diese Tatsachen, die genügen, um zur Aufstellung dieser Hypothese anzuregen, nicht genügen, um sie zu bestätigen. Erst nachdem er einen großen Teil seines Lehrgebäudes aufgebaut, nachdem er eine vollständige Theorie ausgebildet hat, kann er die Konsequenzen dieser Theorie mit dem Experimente vergleichen.

Der Unterricht muß dem Schüler folgende Grundwahrheit deutlich machen: die experimentellen Bestätigungen sind nicht die Basis der Theorie, sondern deren Krönung; die Physik schreitet nicht wie die Geometrie vorwärts; diese wächst, indem sie fortwährend neue, ein für allemal bewiesene Theoreme beibringt, die sie den schon bewiesenen Theoremen hinzufügt, jene ist ein symbolisches Bild, dem fortwährende Verbesserungen mehr und mehr Ausdehnung und Einheit geben; die Gesamtheit der Theoreme gibt ein immer ähnlicheres Bild der Gesamtheit der experimentellen Tatsachen, während jedes Detail dieses Bildes abgeschnitten und isoliert vom Ganzen jede Bedeutung verliert und nichts mehr darstellt.

Dem Schüler, der diese Wahrheit nicht erkannt hat, wird die Physik als ein monströser Wortschwall erscheinen, der nichts anderes als eine petitio principii auf die andere und einen circulus vitiosus auf den anderen häuft. Wenn sein Denken sehr streng ist, wird er mit Abscheu die fortwährenden Verstöße gegen die Logik zurückweisen. Wenn sein Verstand minder streng ist, wird er diese Worte mit ungenauem Sinn, diese Beschreibungen unrealisierter und unrealisierbarer Experimente, diese Überlegungen, die nur Taschenspielerkünste sind, auswendig lernen, indem er bei dieser unvernünftigen Gedächtnisarbeit das wenige, was er an gesundem Sinn und kritischem Denken besaß, verliert.

Der Schüler dagegen, der mit klarem Blick die Gedanken die wir formuliert haben, erfaßt, wird nicht nur eine gewisse Zahl physikalischer Sätze gelernt, sondern die Natur und wahre Methode der experimentellen Wissenschaft begriffen haben[1]).

§ 7. — Konsequenzen in bezug auf die mathematische Entwicklung der physikalischen Theorie.

Auf Grund der vorangegangenen Erörterungen erscheint uns die wahre Natur der physikalischen Theorie und der Bande, die sie ans Experiment knüpfen, immer deutlicher und genauer.

Die Materialien, aus denen diese Theorie konstruiert wird, sind einerseits die mathematischen Symbole, die dazu dienen, die verschiedenen Qualitäten und Quantitäten der physikalischen Erfahrung darzustellen, andererseits die allgemeinen Postulate, die ihr als Prinzipien dienen. Aus diesen Materialien soll sie ein logisches Gebäude erstellen, sie muß daher, wenn sie den Plan dieses Gebäudes zeichnet, die Gesetze, die die Logik jeder deduktiven Schlußfolgerung auferlegt, ebenso

[1]) Man wird ohne Zweifel einwenden, daß ein derartiger Unterricht für junge Intelligenzen schwer anwendbar sei; die Antwort darauf ist einfach: Man trage die Physik nicht Köpfen vor, die noch nicht geeignet sind sie aufzunehmen. Mme de Sévigné sagte, als von kleinen Kindern die Rede war: „Bevor man ihnen Fuhrmannskost gibt, muß man sich vergewissern, ob sie einen Fuhrmannsmagen besitzen."

wie die Regeln, die die Algebra jeder mathematischen Operation vorschreibt, peinlichst respektieren.

Die mathematischen Symbole, deren sich die Theorie bedient, haben nur unter richtig bestimmten Bedingungen einen Sinn; diese Symbole definieren heißt diese Bedingungen aufzählen. Die Theorie muß darauf verzichten, diese Zeichen unter anderen Bedingungen zu gebrauchen. So kann auf Grund der Definition eine absolute Temperatur nur positiv sein, so ist die Masse eines Körpers unveränderlich; niemals wird die Theorie in ihren Formulierungen der absoluten Temperatur den Wert Null oder einen negativen zuschreiben; niemals wird sie in ihren Rechnungen die Masse eines bestimmten Körpers variieren lassen.

Die Theorie hat zum Prinzip Postulate, d. h. Lehrsätze, die sie aussprechen kann, wie es ihr beliebt, vorausgesetzt, daß weder zwischen den Ausdrücken desselben Postulates, noch zwischen zwei verschiedenen Postulaten ein Widerspruch besteht. Wenn aber einmal diese Postulate aufgestellt sind, muß sie sie mit eifriger Strenge hüten. Wenn sie zum Beispiel das Gesetz der Erhaltung der Energie zur Basis ihres Systemes gemacht hat, muß sie auf jede Behauptung, die im Widerspruch mit diesem Princip steht, verzichten.

Solche Regeln — und nur solche — lasten während des Baues einer physikalischen Theorie mit ihrem ganzen Gewicht auf derselben. Ein einziger Mangel würde das System unlogisch machen und uns verpflichten, es umzustoßen, um ein anderes aufzubauen. IM LAUF IHRER ENTWICKLUNG steht es einer physikalischen Theorie frei, einen beliebigen Weg einzuschlagen, vorausgesetzt, daß er jeden logischen Widerspruch vermeidet; im speziellen steht es ihr frei, keinerlei Rechenschaft von den experimentellen Tatsachen zu geben.

Dies ist nicht mehr der Fall, WENN DIE THEORIE IHRE VOLLSTÄNDIGE AUSBILDUNG ERFAHREN HAT. Wenn das logische Gebäude vollendet ist, wird es notwendig, die Gruppe mathematischer Lehrsätze, die als Schlußfolgerungen dieser langen Deduktionen erhalten wurden, mit

der Gruppe experimenteller Tatsachen zu vergleichen. Durch Anwendung der angenommenen Meßverfahren muß man sich versichern, daß die zweite Gruppe in der ersten ein hinreichend ähnliches Bild, ein hinreichend genaues und vollständiges Symbol finde. Wenn diese Übereinstimmung zwischen den Schlußfolgerungen der Theorie und den experimentellen Tatsachen sich nicht mit befriedigender Annäherung zeigt, so kann die Theorie zwar logisch richtig aufgebaut sein, sie muß aber nichtsdestoweniger verworfen werden, weil sie durch die Beobachtung widerlegt wird, weil sie physikalisch falsch ist.

Dieser Vergleich zwischen den Schlußfolgerungen der Theorie und den experimentellen Wahrheiten ist daher unumgänglich nötig, da allein die Konfrontierung mit den Tatsachen der Theorie physikalischen Wert verleihen kann. Aber diese Konfrontierung mit den Tatsachen muß sich ausschließlich auf die Schlußfolgerungen der Theorie erstrecken, da sie allein als ein Bild der Wirklichkeit anzusehen sind; die Postulate, die als Ausgangspunkt der Theorie dienen, die Zwischenglieder, durch die man von den Postulaten zu den Schlußfolgerungen kommt, dürfen ihr nicht unterworfen werden.

Wir haben bereits sehr vollständig den Fehler derjenigen analysiert, die eines der fundamentalen Postulate der Physik, einer Prüfung an den Tatsachen durch ein Verfahren, wie das experimentum crucis direkt unterwerfen wollen; und vor allem den Fehler derjenigen, die als Prinzipien nur „Induktionen" annehmen, „die ausschließlich darin bestehen, daß in allgemeinen Gesetzen nicht die Interpretation, sondern das eigentliche Resultat einer sehr großen Anzahl von Experimenten festgehalten wird".[1])

Diesem Irrtum ist ein anderer sehr verwandt; er besteht in der Forderung, daß alle vom Mathematiker im Lauf der Deduktionen, die die Postulate mit den Schlußfolgerungen verbinden, ausgeführten Operationen einen physikalischen Sinn besitzen; er besteht in dem Wunsche, „nur realisier-

[1]) Gustave Robin: Oeuvres scientifiques. Thermodynamique générale. Introduction p. XIV.

bare Operationen in Betracht zu ziehen[1])", „nur Größen, die dem Experiment zugänglich sind, einzuführen".

Gemäß dieser Forderung müßte vom Physiker in seinen Formeln, mittelst eines Messungsverfahrens, jede eingeführte Größe mit einer Eigenschaft eines Körpers verbunden werden; jede an diesen Größen ausgeführte algebraische Operation müßte auf Grund dieser Messungsverfahren in die konkrete Sprache übersetzbar sein; derartig übersetzt müßte sie eine wirkliche oder mögliche Tatsache ausdrücken.

Eine derartige Forderung, die berechtigt ist, solange es sich um die Schlußformeln handelt, auf die die Theorie hinausläuft, verliert ihre Begründung in bezug auf die Formeln und Operationen, die als Zwischenglieder den Weg von den Postulaten zu den Schlußfolgerungen herstellen.

Nehmen wir ein Beispiel:

J. Willard Gibbs hat theoretisch die Dissoziation eines vollkommenen Gasgemisches in seine Elemente, die man für vollkommene Gase hielt, studiert. Es wurde eine Formel erhalten, die das Gleichgewicht im Innern eines derartigen Systemes ausdrückt. Ich will diese Formel diskutieren. Zu diesem Zwecke lasse ich den Druck, dem die Gasmischung unterliegt, ungeändert und betrachte die absolute Temperatur, die in der Formel auftritt und lasse sie von 0 bis $+ \infty$ variieren.

Wenn man dieser mathematischen Operation einen physikalischen Sinn zuschreiben will, wird man vor sich eine Menge von Widerständen und Schwierigkeiten erstehen sehen. Kein Thermometer lehrt uns Temperaturen unter einer gewissen Grenze kennen, keines kann genügend hohe Temperaturen bestimmen; dem Symbol, das wir absolute Temperatur nennen, kann durch keines der Meßverfahren, über die wir verfügen, irgend ein konkreter Sinn zugeschrieben werden, wenn nicht sein numerischer Wert zwischen einem bestimmten Minimum und einem bestimmten Maximum bleibt. Überdies ist bei genügend tiefen Temperaturen jenes andere

[1]) G. Robin: loc. cit.

Symbol, das in der Thermodynamik vollkommenes Gas genannt wird, nicht mehr ein auch nur angenähertes Bild eines wirklichen Gases.

Diese Schwierigkeiten und viele andere, die aufzuzählen zu langwierig wäre, verschwinden, wenn man auf die Bemerkungen, die wir formuliert haben, achtet. Bei der Aufstellung der Theorie ist die Diskussion, von der wir gesprochen haben, nur ein Zwischenglied und es ist nicht berechtigt, in ihr einen physikalischen Sinn zu suchen. Nur wenn diese Diskussion uns zu einer Serie von Lehrsätzen geführt hat, können wir diese Lehrsätze der Konfrontierung mit den Tatsachen unterwerfen. Wir werden sodann zwischen den Grenzen, in denen die absolute Temperatur durch konkrete thermometrische Angaben ausgedrückt werden kann, innerhalb deren der Begriff des vollkommenen Gases durch die Fluida, die wir beobachten, beinahe realisiert ist, prüfen, ob die Schlußfolgerungen unserer Diskussion mit den experimentellen Tatsachen übereinstimmen.

Indem man fordert, daß die mathematischen Operationen, durch die aus den Postulaten Konsequenzen abgeleitet werden, immer einen physikalischen Sinn haben, legt man den Mathematikern unüberwindliche, jeden Fortschritt hemmende Hindernisse in den Weg. Es kann dann geschehen, daß man mit G. Robin den Gebrauch der Differentialrechnung scheut; in der Tat würde er, wenn er seinen Stolz darein setzte, stets und peinlich dieser Anforderung zu genügen, beinahe keine Rechnung mehr ausführen können; von den ersten Schritten an würde die theoretische Deduktion gehemmt sein. Eine genauere Vorstellung von der physikalischen Methode, eine schärfere Abgrenzung derjenigen Lehrsätze, die der Konfrontierung mit den Tatsachen zu unterwerfen, von denjenigen, die davon befreit sind, werden dem Mathematiker seine Freiheit vollständig wiedergeben und ihm ermöglichen, für die weiteste Entwicklung der physikalischen Theorien alle Hilfsmittel der Algebra zu verwenden.

§ 8. — Gibt es gewisse Postulate der physikalischen Theorie, die durch das Experiment nicht widerlegt werden können?

Daß ein Prinzip richtig ist, erkennt man daran, daß es leicht die Verwirrung beseitigt, in die wir durch den Gebrauch irrtümlicher Prinzipien gekommen sind.

Wenn daher der Gedanke, den wir ausgesprochen haben, richtig ist, wenn der Vergleich notwendigerweise zwischen der gesamten Theorie und den gesamten experimentellen Tatsachen vollzogen wird, werden wir sehen können, wie vor dem Lichte dieses Prinzips die Dunkelheiten verschwinden, in die wir uns verirren, wenn wir jede theoretische Hypothese isoliert mit den Tatsachen konfrontieren.

In erster Linie wollen wir unter den Behauptungen, deren paradoxes Aussehen wir zu beseitigen suchen werden, eine hier behandeln, die in den letzten Jahren oft formuliert und kommentiert wurde. Nachdem sie zuerst von Herrn G. Milhaud[1]) in bezug auf den reinen Körper der Chemie ausgesprochen wurde, hat Herr H. Poincaré[2]) sie ausführlich und eingehend in bezug auf die Prinzipien der Mechanik entwickelt; ebenso hat sie Herr Edouard Le Roy mit großer Klarheit formuliert[3]).

Diese Behauptung ist die folgende:

Gewisse fundamentale Hypothesen in der physikalischen Theorie können durch kein Experiment widerlegt werden, weil sie in Wirklichkeit Definitionen bilden und gewisse, vom Physiker gebrauchte Ausdrücke ihren Sinn nur durch sie erhalten.

---

[1]) G. Milhaud: La science rationnelle (Revue de Métaphysique et de Morale, 4e année, 1896, p. 280). — Le Rationnel, Paris 1898, p. 45.

[2]) H. Poincaré: Sur les Principes de la Mécanique (Bibliothèque du Congrès international de Philosophie. III. Logique et Histoire des Sciences. Paris, 1901; p. 457). — Sur la valeur objective des théories physiques (Revue de Métaphysique et de Morale, 10e année, 1902, p. 263). — La Science et l'Hypothèse p. 110.

[3]) Édouard Le Roy: Un positivisme nouveau (Revue de Métaphysique et de Morale, 9e année, 1901, pp. 143—144).

Nehmen wir eines der von Herrn Ed. Le Roy angeführten Beispiele: Wenn ein schwerer Körper frei fällt, ist seine Fallbeschleunigung konstant. Kann ein derartiges Gesetz durch das Experiment widerlegt werden? Nein, denn es bildet die eigentliche Definition dessen, was man unter freiem Fall verstehen muß. Wenn wir beim Studium des Falles eines schweren Körpers finden, daß derselbe keine gleichförmig beschleunigte Bewegung besitze, schließen wir daraus nicht, daß das ausgesprochene Gesetz falsch sei, sondern, daß der Körper nicht frei falle, daß irgend eine Ursache die Bewegung hindere; der Unterschied zwischen dem ausgesprochenen Gesetz und den beobachteten Tatsachen wird uns dazu dienen, diese Ursache zu entdecken und deren Wirkungen zu analysieren.

So schließt Herr Ed. Le Roy, daß „die Gesetze nicht verifizierbar seien, wenn man die Dinge in aller Strenge nimmt, weil sie selbst das Kriterium bilden, nach dem man die Erscheinungen und Methoden beurteilt, die man verwenden müßte, um sie einer Prüfung, deren Genauigkeit jede angebbare Grenze überschreitet, zu unterwerfen".

Nehmen wir den Vergleich zwischen dem Fallgesetz der Körper und dem Experiment mehr im Detail, in der Beleuchtung, die sie durch die früher aufgestellten Prinzipien erhalten, in Augenschein.

Unsere täglichen Beobachtungen haben uns eine ganze Kategorie von Bewegungen kennen gelehrt, die wir miteinander unter dem Namen Bewegungen schwerer Körper vereinigt haben. Unter diesen Bewegungen befindet sich auch der Fall, den ein schwerer Körper erleidet, wenn er durch keinerlei Hindernis gestört wird. Es folgt daraus, daß die Worte: „Freier Fall eines schweren Körpers" für den Menschen, der einzig die Kenntnisse des gewöhnlichen Lebens zu Rate zieht und keinen Begriff von physikalischen Theorien besitzt, einen Sinn haben.

Andererseits hat der Physiker, um die Gesetze der Bewegungen, um die es sich handelt, zu klassifizieren, eine Theorie geschaffen, die Theorie der Schwere, eine wichtige Anwendung der wissenschaftlichen Mechanik. In dieser

Theorie, die eine symbolische Darstellung der Wirklichkeit liefern soll, ist gleicherweise die Rede vom „freien Fall eines schweren Körpers". Infolge der Hypothesen, die dieses ganze Schema tragen, muß ein freier Fall notwendigerweise ein gleichförmig beschleunigter Fall sein.

Die Worte „freier Fall eines schweren Körpers" haben jetzt einen zweifach verschiedenen Sinn. Für denjenigen, der die physikalischen Theorien nicht kennt, haben sie einen wirklichen Sinn, bezeichnen sie, was man im gewöhnlichen Leben meint, wenn man sie ausspricht; für den Physiker haben sie einen symbolischen Sinn, bezeichnen sie „einen gleichförmig beschleunigten Fall". Die Theorie hätte ihre Aufgabe nicht erfüllt, wenn der zweite Sinn nicht das Zeichen des ersten wäre, wenn ein Fall, der im gewöhnlichen Leben als frei betrachtet wird, nicht gleichzeitig ein Fall von gleichförmiger oder von nahezu gleichförmiger Beschleunigung wäre, da die Konstatierungen des gewöhnlichen Lebens dem Wesen nach, wie bereits gesagt, der Präzision entbehren.

Diese Übereinstimmung, bei deren Mangel die Theorie ohne umständliche Untersuchungen verworfen worden wäre, tritt tatsächlich auf. Ein Fall, der im gewöhnlichen Leben als nahezu frei bezeichnet wird, ist auch ein Fall, dessen Beschleunigung nahezu konstant ist. Aber die Konstatierung dieser nur grob angenäherten Übereinstimmung befriedigt uns nicht. Wir wollen den Grad der Genauigkeit, zu dem man im gewöhnlichen Leben gelangen kann, erhöhen und übertreffen. — Mit Hilfe der von uns erdachten Theorie konstruieren wir Apparate, die mit Genauigkeit erkennen lassen, ob der Fall eines Körpers gleichförmig beschleunigt ist oder nicht. Diese Apparate zeigen uns, daß ein bestimmter Fall, der im gewöhnlichen Leben als freier bezeichnet wird, eine etwas veränderliche Beschleunigung besitzt. Der Lehrsatz, der in unserer Theorie dem Worte „freier Fall" seinen symbolischen Sinn gibt, stellt nicht mit hinreichender Genauigkeit die Eigenschaften des wirklichen und konkreten Falles, den wir beobachtet haben, dar.

Zwei Wege stehen uns nun offen.

In erster Linie können wir erklären, daß wir recht gehabt haben, den studierten Fall als freien Fall zu betrachten und zu verlangen, daß die theoretische Definition dieser Worte mit unseren Beobachtungen übereinstimme. In diesem Falle muß, da unsere theoretische Definition unserer Forderung nicht entspricht, dieselbe verworfen werden. Wir müssen eine andere Mechanik auf neue Hypothesen aufbauen, eine Mechanik, in der die Worte „Freier Fall" nicht mehr bezeichnen „gleichförmig beschleunigter Fall", sondern „Fall, dessen Beschleunigung gemäß einem bestimmten Gesetze variiert".

In zweiter Linie können wir erklären, daß wir unrecht gehabt haben, eine Bezeichnung zwischen dem konkreten Falle, den wir beobachtet haben und dem symbolischen freien Fall, wie er durch unsere Theorie definiert wurde, herzustellen, daß dieser ein zu vereinfachtes Schema des ersteren gewesen. Damit der Theoretiker in geeigneter Weise den Fall, auf den unsere Experimente gegründet sind, darstellen kann, muß er nicht mehr an einen frei fallenden, schweren Körper denken, sondern an einen, der durch bestimmte Hindernisse, wie den Luftwiderstand gestört wird. Indem er die Wirkung dieser Hindernisse mit Hilfe geeigneter Hypothesen darstellt, wird er ein viel verwickelteres Schema, als den frei fallenden Körper bilden, das aber viel geeigneter sein wird, die Details des Experimentes wiederzugeben. Alles in allem können wir gemäß den Ausdrücken, die wir im Vorhergehenden (Kap. VIII, § 3) festgelegt haben, versuchen, mit Hilfe geeigneter Korrektionen die unser Experiment beeinflussenden Fehlerquellen, wie den Luftwiderstand, zu eliminieren.

Herr Le Roy behauptet, daß wir den zweiten Weg einschlagen werden und nicht den ersten, darin hat er sicherlich recht. Die Ursachen, die uns diese Entscheidung aufdrängen, sind leicht zu begreifen. Wenn wir den ersten Weg einschlagen würden, wären wir gezwungen ein sehr großes theoretisches System, das in sehr befriedigender Weise eine sehr große und sehr verwickelte Gruppe experimenteller Ge-

setze darstellt, von Grund aus zu zerstören. Der zweite Weg dagegen läßt uns nichts von jenem Terrain, das die physikalische Theorie bereits erobert hat, verlieren. Noch mehr, wir haben auf ihm in einer so großen Zahl von Fällen Erfolg gehabt, daß wir berechtigt sind, einen neuen Erfolg zu gewärtigen. Aber in diesem Vertrauen, das wir dem Fallgesetz der schweren Körper entgegenbringen, sehen wir keinerlei Analogie zu der Sicherheit, die die geometrische Definition aus ihrem Wesen selbst ableitet, zu jener Sicherheit, die nur den Verrückten zweifeln läßt, daß alle Punkte eines Kreisumfanges gleich weit vom Zentrum entfernt sind.

Wir sehen hier nur eine spezielle Anwendung des im § 2 auseinandergesetzten Prinzipes. Eine Nichtübereinstimmung zwischen den konkreten Tatsachen, die ein Experiment bilden und der symbolischen Darstellung, die die Theorie für dieses Experiment substituiert, beweist uns, daß irgend ein Teil dieses Symboles zu verwerfen sei. Aber welcher Teil? Das sagt uns das Experiment nicht, das zu ergründen überläßt es unserer Einsicht. Unter den theoretischen Elementen, die in den Zusammenhang dieses Symbols eintreten, gibt es nun immer eine gewisse Zahl, denen die Physiker einer gewissen Epoche ohne Kontrolle zustimmen, die sie als über jede Anzweiflung erhaben betrachten. Daher wird der Physiker, der dieses Symbol modifizieren muß, sicher seine Modifikation an anderen Elementen als jenen anbringen.

Es ist aber keine logische Notwendigkeit, die den Physiker dazu treibt, so zu verfahren; wenn er anders verfährt, kann er ungeschickt und schlecht beraten sein, aber er würde sich deshalb doch nicht auf den Bahnen eines Geometers bewegen, der so verrückt wäre, seiner eigenen Definition zu widersprechen; er würde nichts Absurdes tun. Ja noch mehr. Wenn er vielleicht eines Tages anders handelt, wenn er darauf verzichtet, die Fehlerquellen in Betracht zu ziehen, auf die Korrektionen zu rekurrieren, die die Übereinstimmung zwischen dem theoretischen Schema und der Tatsache herstellen, indem er entschlossen ist, die Reformierung der Lehrsätze, die all-

gemein übereinstimmend als unantastbar erklärt werden in die Hand zu nehmen, wird er ein geniales Werk vollbringen, das der Theorie neue Bahnen öffnet.

In der Tat sollte man sich wohl vor dem Glauben hüten, daß jene Hypothesen, die zu allgemein anerkannten Konventionen geworden sind, deren Gewißheit den experimentellen Widerspruch niederzuschlagen und auf andere, zweifelhaftere Annahmen zu verweisen scheint, für ewig gesichert seien. Die Geschichte der Physik zeigt uns recht oft, wie der menschliche Geist dazu geführt wurde, derartige Prinzipien, die durch Jahrhunderte allgemein als unverletzbare Axiome anerkannt wurden, von Grund aus umzustürzen und seine physikalischen Theorien auf neuen Hypothesen wieder aufzubauen.

Gab es zum Beispiel während Jahrtausenden ein klareres und sichereres Prinzip als folgendes: In einem homogenen Medium pflanzt sich das Licht geradlinig fort? Auf diese Hypothese stützte sich nicht nur die alte Optik, die Katoptrik und Dioptrik, deren elegante geometrische Ableitungen nach Wunsch eine ungeheure Zahl von Tatsachen darstellten, sondern sie war auch sozusagen die physikalische Definition der geraden Linie geworden. Auf diese Hypothese mußte jeder Bezug nehmen, der eine Gerade realisieren wollte, der Zimmermann, der die Geradheit einer Holzkante prüft, der Feldmesser, der eine Bahnlinie absteckt, der Geodät, der eine Richtung mit Hilfe der Diopter seiner Alhidade aufnimmt, der Astronom, der die Stellung der Sterne, über die er Betrachtungen anstellt, durch die optische Achse seines Fernrohres angibt. Indessen kam der Tag, wo man überdrüssig wurde, die durch Grimaldi beobachteten Beugungserscheinungen irgend einer Fehlerquelle zuzuschreiben, wo man sich entschloß, das Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu verwerfen und der Optik vollständig neue Grundlagen zu geben. Dieser kühne Entschluß war für die physikalische Theorie der Anstoß zu wunderbaren Fortschritten.

§ 9. — Hypothesen, deren Wortlaut keine experimentelle Deutung zuläßt.

Dieses Beispiel und die anderen, die wir auf Grund der Geschichte der Wissenschaft hinzufügen könnten, zeigen uns, daß wir sehr unklug wären, bezüglich heute allgemein anerkannter Hypothesen zu sagen: „Wir sind sicher, daß wir niemals durch ein neues Experiment, wie genau es auch immer sei, dazu geführt werden, sie aufzugeben." Hr. H. Poincaré zögert indessen nicht, diese Behauptung bezüglich der Prinzipien der Mechanik aufzustellen[1]).

Zu den bereits angeführten Gründen, die beweisen, daß diese Prinzipien nicht experimentell widerlegt werden können, fügt Hr. H. Poincaré einen hinzu, welcher noch überzeugender scheint: Diese Prinzipien können nicht nur deshalb nicht durch das Experiment widerlegt werden, weil sie allgemein anerkannte Regeln sind, die uns dazu dienen, in unseren Theorien die durch diese Widersprüche angezeigten Fehler zu entdecken, sondern weil sie durch das Experiment nicht widerlegt werden können, da die Operation, die sie mit den Tatsachen vergleichen soll, keinen Sinn hat.

Erläutern wir das durch ein Beispiel.

Das Prinzip der Trägheit lehrt uns, daß ein materieller Punkt, der der Einwirkung eines jeden anderen Körpers entzogen ist, sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit geradlinig fortbewegt. Man kann nun nur relative Bewegungen beobachten. Man kann daher diesem Prinzip nur dann einen experimentellen Sinn geben, wenn man einen gewissen Beziehungspunkt als gewählt betrachtet, einen gewissen festen geometrischen Körpers als fixes Merkmal nimmt, auf das die Bewegung des materiellen Punktes bezogen wird. Die Festlegung dieses Merkmals bildet einen integrierenden Teil des Ausdruckes des Gesetzes. Wenn man diese Festlegung unterließe, würde dieser Ausdruck allen Sinnes beraubt werden.

[1]) H. Poincaré: Sur les principes de la Mécanique (Bibliothèque du Congrès international de Philosophie. III. Logique et Histoire des Sciences. Paris, 1901; pp. 475, 491).

Es gibt ebensoviele verschiedene Gesetze, wie verschiedene Beziehungspunkte. Man spricht ein Gesetz der Beharrung aus, wenn man sagt, daß die Bewegung eines isolierten Punktes, vorausgesetzt, daß sie von der Erde aus gesehen werde, geradlinig und gleichförmig sei, ein anderes, wenn man denselben Satz wiederholt, indem man die Bewegung auf die Sonne bezieht, noch ein anderes, wenn das Beziehungszeichen das gesamte Fixsternsystem ist. Eines ist nun aber wohl sicher: Wie immer auch die Bewegung eines materiellen Punktes von einem Beziehungspunkt aus gesehen, beschaffen sei, immer kann man in mannigfachster Weise einen zweiten Beziehungspunkt in der Art wählen, daß von ihm aus gesehen, unser materieller Punkt sich geradlinig mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewegen scheint. Man dürfte daher eine experimentelle Bestätigung des Trägheitsprinzipes nicht versuchen; wenn es bei Beziehung der Bewegungen auf einen gewissen Punkt falsch wäre, würde es bei der Wahl eines anderen richtig werden und es würde einem immer frei stehen, diesen letzteren zu wählen. Wenn das Trägheitsgesetz, das bezüglich der Erde als Beziehungspunkt ausgesprochen wurde, durch die Beobachtung widerlegt wird, wird man es durch das Trägheitsgesetz, das die Bewegungen auf die Sonne bezieht, ersetzen. Wenn dieses seinerseits für falsch befunden wird, wird man die Sonne durch das Fixsternsystem ersetzen und so fort. Es ist unmöglich, diese Hintertür zu schließen.

Das Prinzip der Gleichheit der Aktion und Reaktion, das ausführlich von Hrn. Poincaré[1]) analysiert wurde, bietet Gelegenheit zu analogen Bemerkungen. Dieses Prinzip kann folgendermaßen ausgesprochen werden:

„Der Schwerpunkt eines isolierten Systemes, kann nur eine geradlinige und gleichförmige Bewegung besitzen."

Dieses Prinzip wollen wir durch das Experiment verifizieren. „Können wir diese Verifikation ausführen? Dazu wäre nötig, daß ein isoliertes System bestehe; solche Systeme

[1]) H. Poincaré: loc. cit. pp. 472 et seqq.

bestehen nun nicht; das einzige isolierte System ist das gesamte Universum."

„Aber wir können nur relative Bewegungen beobachten; die absolute Bewegung des Schwerpunktes des Universums wird uns daher für immer unbekannt bleiben; wir können niemals wissen, ob sie geradlinig und gleichförmig sei oder besser gesagt, die Frage hat keinen Sinn. Wie immer auch die Beobachtungstatsachen beschaffen seien, es bleibt uns stets freigestellt anzunehmen, daß unser Prinzip richtig sei."

So haben manche Prinzipien der Mechanik eine derartige Form, daß die Frage absurd ist: Ist dieses Prinzip mit der Erfahrung in Übereinstimmung oder nicht? Dieser befremdende Charakter ist nicht den Prinzipien der Mechanik eigentümlich. Er kennzeichnet in gleicher Weise gewisse fundamentale Hypothesen unserer physikalischen und chemischen Theorien[1]).

Die chemische Theorie zum Beispiel ruht vollständig auf dem Gesetz der multiplen Proportionen; der genaue Wortlaut dieses Gesetzes ist folgender:

Einfache Körper A, B, C können bei ihrer Vereinigung in verschiedenen Verhältnissen verschiedene Verbindungen M, M' . . . bilden. Die Massen der Körper A, B, C die die Verbindung M bilden, verhalten sich zueinander, wie die drei Zahlen a, b, c. Die Massen der Elemente, die die Verbindung M' bilden, werden sich nun zu einander wie die Zahlen αa, βb, γc verhalten, wobei α, β, γ drei ganze Zahlen sind.

Kann dieses Gesetz der Kontrolle durch das Experiment unterworfen werden? Die chemische Analyse lehrt uns die chemische Zusammensetzung des Körpers M' nicht genau, sondern nur mit einer gewissen Annäherung kennen; die Unsicherheit der erhaltenen Resultate wird außerordentlich klein, sie wird aber niemals streng O sein. In welchen Beziehungen nun die Elemente A, B, C sich in der Verbindung M' kombiniert finden, immer wird man diese Beziehungen mit einer

[1]) P. Duhem: Le mixte et la combinaison chimique; Essai sur l'évolution d'une idée, Paris, 1902; p. 159—161.

beliebig großen Annäherung durch die gegenseitigen Beziehungen der drei Produkte αa, βb, γc darstellen können, wobei α, β, γ ganze Zahlen sind. Mit anderen Worten, wie immer die Resultate, die die chemische Analyse der Verbindung M' ergibt, sein mögen, man ist stets sicher drei ganze Zahlen α, β, γ zu finden, dank deren das Gesetz der multiplen Proportionen mit einer höheren Genauigkeit als sie die Experimente besitzen, verifizierbar ist. Es wird daher keine chemische Analyse, so fein sie auch immer sei, jemals dem Gesetz der multiplen Proportionen widersprechen können.

In gleicher Weise ruht die ganze Kristallographie auf dem Gesetz der rationalen Indices, das in folgender Weise formuliert wird:

Ein Triëder wird von drei Kristallflächen gebildet, eine vierte Fläche schneidet die drei Kanten dieses Triëders in Distanzen von der Spitze, die sich untereinander wie die Zahlen a, b, c die Parameter des Kristalles verhalten. Irgend eine andere Fläche soll dieselben Kanten in Abständen von der Spitze, die sich zueinander wie αa, βb, γc verhalten, schneiden, wobei α, β, γ drei ganze Zahlen, die Indices der neuen Kristallfläche, sind.

Das vollkommenste Goniometer bestimmt die Orientierung einer Kristallfläche nur mit einer gewissen Genauigkeit; die Beziehungen zwischen den drei Abschnitten, die eine derartige Fläche auf den Kanten des grundlegenden Triëders bestimmt, sind immer einem gewissen Fehler unterworfen. So klein nun dieser Fehler auch sein mag, kann man doch immer drei Zahlen α, β, γ in der Art wählen, daß die gegenseitigen Verhältnisse dieser Abschnitte, mit einem Fehler der noch kleiner ist, durch die gegenseitigen Verhältnisse der drei Zahlen αa, βb, γc dargestellt werden. Der Kristallograph der das Gesetz der rationalen Indices durch sein Goniometer rechtfertigen wollte, hat sicher nicht den eigentlichen Sinn der Worte, die er anwendet, erfaßt.

Das Gesetz der multiplen Proportionen, das Gesetz der rationalen Indices sind mathematische Ausdrücke, denen jeder physikalische Sinn fehlt. Ein mathematischer Ausdruck hat

nur dann phvsikalischen Sinn, wenn er nach Einführung des Wortes annähernd noch seine Bedeutung behält. Dies ist bei den Ausdrücken, die wir erwähnten, nicht der Fall. Sie bestehen in der Tat in der Behauptung, daß gewisse Verhältnisse kommensurable Zahlen seien. Sie würden zu einfachen Gemeinplätzen werden, wenn sie aussagen sollten, daß diese Verhältnisse annähernd kommensurabel seien. Denn irgend ein beliebiges inkommensurables Verhältnis ist immer annähernd kommensurabel; es ist immer, so nahe man will, kommensurabel.

Es wäre daher absurd, gewisse Prinzipien der Mechanik der direkten Kontrolle des Experimentes unterwerfen zu wollen; ebenso wäre es absurd, das Gesetz der multiplen Proportionen oder das Gesetz der rationalen Indices dieser direkten Kontrolle zu unterwerfen.

Folgt daraus, daß diese Hypothesen, die vom direkten experimentellen Widerspruch nicht erreicht werden können, nichts vom Experiment zu fürchten haben? Sind sie sicher unveränderlich zu bleiben, welche Entdeckungen auch immer die Beobachtung der Tatsachen uns aufspart? Es hieße einen schweren Irrtum begehen, wollte man dies behaupten.

Isoliert genommen, haben diese verschiedenen Hypothesen keine experimentelle Bedeutung; es kann sich nicht darum handeln sie durch das Experiment zu bestätigen oder zu widerlegen. Aber diese Hypothesen werden als wesentliche Fundamente beim Bau gewisser Theorien, der wissenschaftlichen Mechanik, der chemischen Theorie, der Kristallographie verwendet; der Zweck dieser Theorien besteht in der Darstellung experimenteller Gesetze; sie sind Darstellungen, die dem Wesen nach dazu bestimmt sind, mit den Tatsachen verglichen zu werden.

Dieser Vergleich könnte nun sehr wohl eines Tages uns erkennen lassen, daß eine unserer Darstellungen schlecht zur Wirklichkeit, die sie versinnbildlichen soll, paßt, daß die Korrektionen, die unser Schema komplizierter machen, nicht genügen, um eine hinreichende Übereinstimmung zwischen dieser Darstellung und den Tatsachen herzustellen. Die lange Zeit ohne Widerspruch als zulässig betrachtete Theorie muß verworfen

und eine vollständig andere auf ganz neuen Hypothesen aufgebaut werden. An diesem Tage würde eine der Hypothesen, die isoliert genommen, vom direkten Widerspruch des Experimentes nicht erreicht werden könnte, mit dem System, das sie trug unter dem Gewichte der Widersprüche, in denen die Realität zu den Konsequenzen dieses als Ganzes genommenen Systemes steht, zusammenbrechen[1]).

In Wirklichkeit unterliegen die Hypothesen, die selbst keine physikalische Bedeutung besitzen, genau in derselben Weise der Kontrolle durch das Experiment, wie die anderen Hypothesen. Wir haben am Anfang dieses Kapitels gesehen, daß wie immer auch eine Hypothese beschaffen sei, sie niemals isoliert durch das Experiment widerlegt werden kann. Der experimentelle Widerspruch handelt immer über eine theoretische Gruppe als Ganzes, ohne daß in dieser Gruppe der Lehrsatz, der verworfen werden muß, irgendwie bezeichnet werden könnte.

So verschwindet das, was an der Behauptung: Gewisse physikalische Theorien ruhen auf Hypothesen, die physikalisch nicht gedeutet werden können, hätte paradox scheinen können.

§ 10. — Der gesunde Menschenverstand hat zu beurteilen, welche Hypothesen aufgegeben werden müssen.

Wenn das Experiment gewissen Konsequenzen einer Theorie widerspricht, lehrt es uns wohl, daß diese Theorie modifiziert, aber es sagt uns nicht, was an ihr geändert werden müsse. Dem Scharfsinn des Physikers bleibt die Sorge überlassen, den Fehler zu suchen, an dem das ganze System leidet. Kein

[1]) Am internationalen philosophischen Kongreß, der in Paris im Jahre 1900 abgehalten wurde, hatte Hr. Poincaré folgende Schlußfolgerung entwickelt: „So erklärt es sich, daß das Experiment die Prinzipien der Mechanik wohl aufbauen (oder anregen), sie aber niemals umstürzen konnte." Gegen diese Schlußfolgerung hatte Hr. Hadamard mehrere Einwände erhoben, unter anderen folgenden: „Übrigens ist es entsprechend einer Bemerkung des Hrn. Duhem nicht eine isolierte Hypothese, sondern die Gesamtheit der Hypothesen der Mechanik, deren experimentelle Bestätigung man versuchen kann." (Revue de Métaphysique et de Morale, 8e année, 1900, p. 559.)

absolutes Prinzip leitet diese Untersuchung, die die verschiedenen Physiker auf sehr verschiedene Art und Weise ausführen können, ohne das Recht zu haben, einander als unlogisch anzuklagen. Der eine kann sich zum Beispiel bemüßigt sehen, gewisse fundamentale Hypothesen aufrechtzuerhalten, indem er sich bemüht, durch Komplikation der Darstellung, in der diese Hypothesen angewendet werden, durch Aufsuchung verschiedener Fehlerquellen, durch Vermehrung der Korrektionen, die Übereinstimmung zwischen den Konsequenzen der Theorie und den Tatsachen wieder herzustellen. Ein anderer, der diese komplizierten Kniffe verschmäht, kann zum Entschluß kommen, eine der wesentlichen Annahmen, die das ganze System tragen, zu ändern. Der erstere hat nicht das Recht, von vornherein die Kühnheit des zweiten zu verdammen, ebensowenig, wie der zweite, die Zaghaftigkeit des ersten als absurd behandeln darf. Die Methoden, die sie verfolgen, können nur durch das Experiment gerechtfertigt werden, und wenn sie alle beide seinen Anforderungen genügen, ist es logisch zulässig, daß sowohl der eine wie der andere mit seiner Arbeit zufrieden ist.

Das will keineswegs sagen, daß man nicht mit sehr großer Berechtigung die Arbeit des einen der des anderen vorziehen kann. Die reine Logik ist keineswegs die einzige Regel unserer Urteile. Gewisse Meinungen, die nicht durch das Prinzip des Widerspruchs unmöglich werden, können dennoch vollkommen unvernünftig sein. Jene Motive, die nicht aus der Logik hervorgehen und dennoch unsere Wahl bestimmen, jene „Gründe, die die Vernunft nicht kennt", die zum Scharfsinn und nicht zum mathematischen Denken sprechen, bilden das, was man recht geeignet als gesunden Menschenverstand bezeichnet.

Es kann nun geschehen, daß der gesunde Menschenverstand uns ermöglicht, zwischen unseren beiden Physikern zu entscheiden. Es kann geschehen, daß wir die Eile, mit der der zweite die Prinzipien einer großen und harmonisch gebauten Theorie zertrümmert, wenig verständig finden, während eine Änderung im Detail, eine einfache Korrektion

genügt hätte, diese Theorie wieder mit den Tatsachen in Einklang zu bringen. Es kann dagegen geschehen, daß wir die Hartnäckigkeit, mit der der erste Physiker, koste es was es wolle, um den Preis fortwährender Verbesserungen und eines Wirrwarrs verwickelter Stützpfeiler an den wurmstichigen Säulen eines Gebäudes festhält, das an allen Ecken wackelt, für kindisch und unvernünftig halten, während es nach Demolierung dieses Gebäudes möglich wäre, auf neuen Hypothesen ein einfaches, elegantes und widerstandsfähiges System zu bauen.

Aber diese Gründe des gesunden Menschenverstandes drängen sich nicht mit derselben unabänderlichen Strenge, wie die Vorschriften der Logik auf; sie besitzen etwas Unsicheres, Schwankendes; sie zeigen sich nicht zu gleicher Zeit, mit gleicher Klarheit in allen Köpfen. Daher rührt die Möglichkeit der langen Streitigkeiten zwischen den Anhängern eines alten Systemes und den Vorkämpfern einer neuen Lehre, in denen jedes Lager behauptet, den gesunden Menschenverstand auf seiner Seite zu haben, in denen jede Partei die Gründe des Gegners für unzureichend hält. Solche Streitigkeiten zeigt uns die Geschichte der Physik in unzähligen Fällen, in allen Epochen, auf allen Gebieten. Beschränken wir uns darauf, an die Hartnäckigkeit und Scharfsinnigkeit zu erinnern, mit der Biot in der Optik durch fortgesetztes Anbringen von Korrektionen und Zusatzhypothesen an der Emissionstheorie festhielt, während Fresnel dieser Lehre stets neue Experimente entgegenhielt, die der Undulationstheorie günstig waren.

Dennoch dauert dieser Zustand der Unentschiedenheit stets nur eine gewisse Zeit. Eines Tages erklärt sich der gesunde Menschenverstand so deutlich zugunsten der einen der beiden Parteien, daß die andere auf den Kampf verzichtet, wenn auch die reine Logik seine Fortsetzung nicht verbieten würde. Nachdem das Experiment von Foucault gezeigt hatte, daß das Licht sich schneller in Luft als in Wasser fortpflanze, verzichtete Biot auf die Aufrechterhaltung der Emissionshypothese. In aller Strenge hätte die reine Logik zu diesem Verzicht nicht genötigt, denn das Foucaultsche Experiment

war keineswegs das Experimentum crucis, das Arago in ihm zu sehen glaubte. Wenn aber Biot länger der Undulationstheorie Widerstand geleistet hätte, würde es ihm an gesundem Menschenverstand gemangelt haben.

Da der Augenblick, in dem eine ungenügende Hypothese einer fruchtbaren Annahme Platz machen muß, nicht mit strenger Präzision durch die Logik vorgezeichnet wird, da der gesunde Menschenverstand diesen Augenblick erkennen muß, können die Physiker diesen Entscheid beschleunigen und die Schnelligkeit des wissenschaftlichen Fortschrittes steigern, indem sie sich bemühen, in sich selbst den gesunden Menschenverstand möglichst hell und wachsam zu erhalten. Nichts trägt nun mehr dazu bei, den gesunden Menschenverstand einzuengen, die klare Einsicht zu trüben, als Leidenschaften und Interessen. Nichts verzögert daher mehr die Entscheidung, die in einer physikalischen Theorie eine glücklichere Form bestimmen soll, als die Eitelkeit, die den Physiker zu nachsichtig gegen sein eigenes, zu strenge gegen ein fremdes System macht. Wir sind daher zu folgendem Schluß gelangt, der überaus klar von Claude Bernard formuliert wurde: Die gesunde experimentelle Kritik einer Hypothese ist bestimmten moralischen Bedingungen unterworfen; zur richtigen Einschätzung der Übereinstimmung einer physikalischen Theorie mit den Tatsachen genügt es nicht, daß man ein guter Mathematiker und geschickter Experimentator sei, man muß auch ein unparteiischer und aufrichtiger Richter sein.

Elftes Kapitel.
Die Wahl der Hypothesen.

§ 1. — Worauf sich die von der Logik bei der Wahl der Hypothesen gestellten Bedingungen reduzieren.

Wir haben die verschiedenen Operationen, durch die eine physikalische Theorie zustande kommt, sorgfältig analysiert und haben im Speziellen die Regeln, die den Vergleich der aus einer Theorie gefolgerten Schlüsse mit den experimentellen

Gesetzen ermöglichen, einer strengen Kritik unterworfen. Nunmehr ist es uns ermöglicht, auf die Grundlagen der Theorie selbst zurückzukommen, und da wir wissen, was sie tragen müssen, zu sagen, wie sie beschaffen sein sollen. Wir gehen jetzt an die Beantwortung folgender Frage: Welche Bedingungen müssen gemäß der Logik bei der Wahl der Hypothesen, auf denen eine physikalische Theorie ruhen soll, erfüllt sein?

Die Lösungen der verschiedenen Probleme, die wir in den vorangegangenen Studien untersucht haben, werden uns diese Antwort übrigens sozusagen diktieren.

Verlangt die Logik, daß unsere Hypothesen Folgerungen aus einem kosmologischen System sein sollen, oder daß sie wenigstens mit den Folgerungen eines solchen Systems in Einklang stehen? Keineswegs. Unsere physikalischen Theorien setzen ihren Stolz nicht darein, Erklärungen zu sein; unsere Hypothesen sind keine Annahmen über die eigentliche Natur der materiellen Dinge. Unsere Theorien haben einzig die ökonomische Zusammenfassung und Klassifikation der experimentellen Gesetze zum Ziel; sie sind selbständig und von jedem metaphysischen System unabhängig. Die Hypothesen, auf die wir sie aufbauen, haben es daher nicht nötig, ihr Material bei dieser oder jener philosophischen Lehre zu entlehnen; sie berufen sich nicht auf die Autorität einer metaphysischen Schule und fürchten nicht deren Kritik.

Verlangt die Logik, daß unsere Hypothesen einfach durch die Induktion verallgemeinerte experimentelle Gesetze sein sollen? Die Logik kann keine Forderungen stellen, denen zu genügen unmöglich ist. Wir haben nun festgestellt, daß es unmöglich ist, eine Theorie allein auf Grund der induktiven Methode aufzubauen. Newton und Ampère sind bei diesem Bestreben gescheitert, und doch haben sich diese beiden genialen Köpfe geschmeichelt, nichts in ihre Systeme aufgenommen zu haben, was nicht vollständig aus dem Experiment abgeleitet wäre. Wir sind deshalb gar nicht abgeneigt, unter die Grundlagen, auf denen unsere Physik beruhen soll, auch Postulate aufzunehmen, die nicht durch das Experiment geliefert wurden.

Schreibt uns die Logik vor, unsere Hypothesen nur einzeln, eine nach der anderen einzuführen und eine jede von ihnen, bevor sie als zulässig erklärt wird, einer genauen Kontrolle, betreffs ihrer Zuverlässigkeit zu unterwerfen? Das wäre wieder eine absurde Forderung. Jede experimentelle Kontrolle verwendet die verschiedensten Teile der Physik, nimmt auf unzählige Hypothesen Bezug; niemals prüft sie eine bestimmte Hypothese, die sie von allen anderen absondert; die Logik kann nicht verlangen, daß man alle Hypothesen, deren Verwendung in Betracht kommt, erst der Reihe nach ausprobiert, da ein solcher Versuch unmöglich ist.

Welche Bedingungen müssen nun gemäß der Logik bei der Wahl der Hypothesen, auf denen die physikalische Theorie ruhen soll, erfüllt sein? Diese Bedingungen sind von dreierlei Art.

In erster Linie wird eine Hypothese kein sich selbst widersprechender Lehrsatz sein dürfen, da der Physiker nicht Unsinniges auszusprechen wünscht.

In zweiter Linie werden die verschiedenen Hypothesen, die die Physik tragen sollen, einander nicht widersprechen dürfen; die physikalische Theorie darf sich in der Tat nicht in einen Haufen unzusammenhängender und unvereinbarer Modelle auflösen, sie sucht mit eifriger Sorgfalt die logische Einheit zu hüten, da uns eine unmittelbare Erkenntnis, die wir zwar nicht rechtfertigen, aber auch nicht zurückdrängen können, zeigt, daß nur unter dieser Bedingung die Theorie ihre ideale Form, die Form der natürlichen Klassifikation erreichen wird.

In dritter Instanz werden die Hypothesen so gewählt werden, daß die Schlußfolgerungen, die die mathematische Ableitung aus deren Gesamtheit ziehen kann, mit hinreichender Annäherung die Gesamtheit der experimentellen Gesetze darstellen. Die schematische Darstellung der vom Experimentator festgestellten Gesetze durch mathematische Symbole ist in der Tat das eigentliche Ziel der physikalischen Theorie; jede Theorie, die zu einer Folgerung führt, die in deutlichem Widerspruch mit einem beobachteten Gesetze steht, muß schonungs-

los verworfen werden. Es ist aber ganz unmöglich, eine isolierte Folgerung der Theorie mit einem isolierten experimentellen Gesetz zu vergleichen. Es handelt sich um zwei Systeme, deren jedes unverletzt in Betracht zu ziehen ist, einerseits das ganze System theoretischer Darstellungen und andererseits das ganze System von Beobachtungsergebnissen; diese beiden Systeme müssen miteinander verglichen werden und ihre Ähnlichkeit ist Gegenstand der Untersuchung.

§ 2. — Die Hypothesen sind nicht das Produkt einer plötzlichen Schöpfung, sondern das Ergebnis einer fortschreitenden Entwicklung. — Die allgemeine Gravitation als Beispiel.

Auf diese drei Bedingungen reduziert sich das, was die Logik von den Hypothesen, die eine physikalische Theorie tragen sollen, fordert; sonst verfügt der Theoretiker über vollständige Freiheit, nur auf sie braucht er zu achten; er kann die Fundamente des Systems, das er bauen will, nach seinem Gutdünken gestalten.

Wäre eine derartige Freiheit nicht das bedrückendste aller Hindernisse?

Und ob! Vor den Augen des Physikers breitet sich grenzenlos die unzählbare Menge, das ungeordnete Gewühl experimenteller Gesetze aus, die noch nicht zusammengefaßt, klassifiziert und verknüpft sind; er soll Prinzipien formulieren, deren Konsequenzen eine einfache, klare, geordnete Darstellung dieser erschreckenden Fülle von Beobachtungsergebnissen bilden; aber bevor er abschätzen kann, ob die Konsequenzen dieser Hypothesen geeignet sind, bevor er sehen kann, ob sie ein ähnliches Bild und eine methodische Klassifikation der experimentellen Gesetze ergeben, muß er das vollständige System seiner Annahmen aufbauen; und wenn er von der Logik verlangt, daß sie ihn bei dieser schwierigen Arbeit leiten möge, daß sie ihm sage, welche Hypothesen er wählen und welche er verwerfen soll, erhält er die einfache Vorschrift,

Widersprüche zu vermeiden, eine Vorschrift, die ihn durch den Spielraum, den sie seiner Unschlüssigkeit läßt, trostlos macht. Kann ein Mensch eine in diesem Grade unumschränkte Freiheit nutzbringend verwerten? Ist sein Geist genügend stark, um eine physikalische Theorie aus einem Guß zu schaffen?

Sicherlich nicht. Die Geschichte zeigt uns auch, daß keine physikalische Theorie aus einem Guß geschaffen wurde. Der Aufbau einer jeden physikalischen Theorie ist immer durch eine Reihe von Verbesserungen vorgeschritten, die das System von den ersten, beinahe unförmigen Entwürfen stufenweise zu größerer Vollkommenheit geführt haben; bei jeder dieser Verbesserungen wurde die freie Initiative des Physikers durch die verschiedensten Umstände, durch Meinungen von Menschen, wie durch die Lehren der Tatsachen bestimmt, unter stützt, geleitet, ja manchmal gebieterisch beherrscht. Eine physikalische Theorie ist nicht das plötzliche Produkt einer Schöpfung, sondern das langsame und fortschreitende Ergebnis einer Entwicklung.

Wenn einige Schläge des Schnabels die Eierschale zerbrechen und das Küchlein aus seiner Gefangenschaft herausschlüpft, so kann das Kind sich vorstellen, daß diese starre und unbewegliche Masse, die den Kieselsteinen, die es am Ufer des Baches aufgelesen, gleicht, plötzlich Leben bekommen und den Vogel, der läuft und piept, erzeugt hat; aber dort, wo seine kindliche Vorstellung eine plötzliche Schöpfung sieht, erkennt der Naturforscher die letzte Phase einer langen Entwicklung; er geht in Gedanken bis zur Verschmelzung zweier mikroskopisch kleiner Kerne zurück, um sodann die Reihe der Teilungen, der Differenzierungen, der Resorptionen zu verfolgen, die den Körper des jungen Huhnes Zelle um Zelle aufgebaut haben.

Der Laie urteilt über die Entstehung der physikalischen Theorien ebenso, wie ein Kind über das Ausschlüpfen des Küchleins. Er glaubt, daß nachdem jene Zauberin, der er den Namen Wissenschaft gegeben, die Stirne eines genialen

Mannes mit ihrem Zauberstab berührt hat, die Theorie sich sogleich lebendig und vollendet offenbart, ebenso wie Minerva in voller Rüstung aus der Stirne des Zeus heraustrat. Er denkt, daß es genügt, daß Newton einen Apfel auf eine Wiese herabfallen sieht, damit er die Wirkung des Falles schwerer Körper, die Bewegungen der Erde, des Mondes, der Planeten mit ihren Trabanten, die Wanderungen der Kometen, die Gezeiten des Ozeans in dem einzigen Satz zusammenfassen und klassifizieren kann: Die Anziehungskraft zweier beliebiger Körper ist proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung.

Alle, die eine tiefere Einsicht in die Natur und Geschichte der physikalischen Theorien besitzen, wissen, daß man in den Systemen der hellenischen Wissenschaft nach den Keimen der Lehre von der allgemeinen Anziehung suchen muß; sie kennen die langsamen Umbildungen dieses Keimes in seiner Entwicklung, die durch Jahrtausende geht; sie führen die Beiträge jedes Jahrhunderts zu dem Werke, das durch Newton seine lebensfähige Form erhalten hat, an; sie vergessen nicht die Bedenken und die Versuche, durch die Newton hindurch mußte, bevor er sein System vollendet hat; und in keinem Stadium bemerken sie in der Geschichte der allgemeinen Anziehung eine Erscheinung, die einer plötzlichen Schöpfung ähnlich wäre, einen Augenblick, in dem der menschliche Geist von allem Schwanken befreit, den Einflüssen veralteter Lehren und den Widersprüchen moderner Beobachtungen unzugänglich, von der ganzen Freiheit, die ihm die Logik verleiht, Gebrauch machen würde.

Wir können hier nicht im Einzelnen die Geschichte der Bemühungen darlegen, durch die die Menschheit die denkwürdige Entdeckung der universellen Anziehung vorbereitet hat; es würde dafür ein ganzer Band kaum genügen; wir wollen sie wenigstens in großen Zügen skizzieren, um zu zeigen, welche Schicksale diese grundlegende Hypothese erleiden mußte, bevor sie klar formuliert werden konnte.

Sobald der Mensch an das Studium der physikalischen Welt herantrat, mußte eine Klasse von Erscheinungen durch

ihre Allgemeinheit und Wichtigkeit seine Aufmerksamkeit erregen: die Schwere. Sie mußte zum Gegenstande der ersten Überlegungen der Physiker werden.

Wir wollen uns nicht mit der Erinnerung an alles, was die Philosophen des alten Hellas über das Schwere und Leichte sagen konnten, aufhalten. Nehmen wir die von Aristoteles gelehrte Physik als Ausgangspunkt für den Überblick, den wir von dieser Geschichte geben wollen. Außerdem soll von dieser früh begonnenen Entwicklung, die wir aber erst von diesem Punkte an verfolgen, nichts anderes festgehalten werden als das, was die Newtonsche Theorie vorbereitet, indem wir alles andere, was nicht zu diesem Ziel hinführt, systematisch außer acht lassen.

Für Aristoteles bestehen alle Körper aus einer Mischung der vier Elemente, der Erde, des Wassers, der Luft und des Feuers in verschiedenen Verhältnissen. Von diesen vier Elementen sind die ersten drei schwer. Die Erde ist schwerer als das Wasser, dieses schwerer als die Luft. Nur das Feuer ist leicht. Die Mischungen sind mehr oder minder schwer bezw. leicht, je nach dem Verhältnis der sie bildenden Elemente.

Was will das sagen? Ein schwerer Körper ist ein mit einer solchen substantiellen Form versehener Körper, daß er sich immer, wenn er nicht daran gehindert wird, von selber gegen einen mathematischen Punkt, das Zentrum des Universums, bewegt. Damit er daran gehindert werde, muß sich unter ihm entweder eine feste Stütze oder eine Flüssigkeit, die schwerer als er ist, befinden. Eine leichtere Flüssigkeit würde seine Bewegung nicht hindern, weil das Schwere seinen Platz unter dem weniger Schweren einzunehmen sucht. Ein leichter Körper ist entsprechend ein solcher, dessen substantielle Form derartig ist, daß er sich von selber vom Zentrum des Weltalls wegbewegt.

Wenn die Körper mit solchen substantiellen Formen versehen sind, so strebt ein jeder von ihnen darnach, seinen natürlichen Platz einzunehmen. Dieser liegt um so näher dem Weltzentrum, je reicher der Körper an schweren Ele-

menten ist und um so entfernter von diesem Punkte, je mehr diese Mischung von leichten Elementen durchdrungen ist. Wenn sich jedes Element an seinem natürlichen Platz befände, wäre im Weltall eine Ordnung verwirklicht, in der ein jedes Element die Vollkommenheit seiner Form erreicht hätte. Die substantielle Form eines jeden Elementes und einer jeden Mischung ist nun mit einer dieser Eigenschaften, die man Schwere bezw. Leichtigkeit nennt, versehen worden, damit die Ordnung des Weltalls jedesmal durch eine natürliche Bewegung zu ihrer Vollkommenheit zurückkehren kann, wenn sie durch eine gewaltsame Bewegung gestört worden ist. Im besonderen erklärt dieses Streben aller schweren Körper nach ihrem natürlichen Platz, dem Zentrum des Universums, die Rundung der Erde, die vollkommene Kugelgestalt der Meeresoberfläche. Schon Aristoteles hat diesbezüglich einen mathematischen Beweis angedeutet, den Adrast, Plinius der Ältere, Theon von Smyrna, Simplicius, der heilige Thomas von Aquino und die ganze Scholastik wiederholt und weiter entwickelt haben. So ist, entsprechend dem großen Prinzip der peripathetischen Metaphysik, die wirkende Ursache der Bewegung der schweren Körper gleichzeitig der Endzweck; sie ist nicht mit einer vom Weltzentrum ausgeübten gewalttätigen Anziehung identisch, sondern mit einer jedem Körper innewohnenden Tendenz, den für seine eigene Erhaltung und für die harmonische Anordnung der Welt günstigsten Platz zu erreichen.

So sind die Hypothesen beschaffen, auf denen die Theorie der Schwere ruht, die Aristoteles formuliert, die die Kommentatoren der alexandrinischen Schule, die Araber und die mittelalterlichen Philosophen des Westens entwickeln und präzisieren, die Julius Caesar Scaliger[1]) weitläufig auseinandersetzt, der Jean-Baptiste Benedetti[2]) eine besonders klare Form

[1]) Julii Caesaris Scaligeri Exotericarum exercitationum, liber XV: De subtilitate adversus Cardanum, exercitatio IV; Lutetiae 1557.

[2]) J. Baptistae Benedicti Diversarum speculationum liber. Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis, c. XXXV, p. 191; Taurini, MDLXXXV.

gibt und die sogar von Galilei[1]) in seine ersten Schriften aufgenommen wird.

Diese Lehre wurde übrigens im Gange der Überlegungen der scholastischen Philosophen präzisiert. Die Schwere in einem Körper besteht nicht in der Tendenz, ihn als Ganzen dem Zentrum des Universums zu nähern, was absurd wäre, noch auch darin, irgend einen beliebigen seiner Punkte dorthin zu bringen; in jedem schweren Körper gibt es einen genau bestimmten Punkt, der sich mit dem Zentrum des Universums zu vereinigen sucht, und dieser Punkt ist der Schwerpunkt des Körpers; es ist nicht mehr irgend ein beliebiger Punkt der Erde, sondern der Schwerpunkt der ganzen irdischen Masse, der sich im Zentrum der Welt befinden muß, damit die Erde unbeweglich bleibe. Die Schwere wirkt zwischen zwei Punkten ähnlich wie die Wirkungen von Pol zu Pol, durch die man so lange die Eigenschaften der Magneten dargestellt hat.

Diese Lehre, die im Keim in einer Stelle von Simplicius bei seiner Kommentierung des De Coelo von Aristoteles enthalten ist, wurde in der Mitte des XIV. Jahrhunderts ausführlich von einem der Doktoren, die in jener Epoche die nominalistische Schule der Sorbonne zierten, von Albert de Saxe formuliert. Nach Albert de Saxe und gemäß seinem Unterricht wurde sie von den hervorragendsten Denkern der Schule, von Thimon le Juif, von Marsile d'Inghen, von Pierre d'Ailly, von Nipho[2]) angenommen und auseinandergesetzt.

Nachdem sie Leonardo da Vinci einige seiner originellsten Gedanken eingegeben hatte[3]), behielt die Lehre von Albert

[1]) Le opere di Galileo Galilei, ristampate fedelmente sopra la edizione nazionale; vol. I, Firenze, 1890. De motu p. 252. (Diese Schrift, die von Galilei gegen 1590 verfaßt wurde, wurde erst in unserer Zeit durch Hrn. Favaro publiziert.)

[2]) Man findet die detaillierte Geschichte dieser Lehre in unserer Schrift: „Les origines de la Statique" im XV. Kapitel, das den Titel „Les propriétés mecaniques du centre de gravité" trägt. — D'Albert de Saxe à Torricelli. Dieses Kapitel wird demnächst in der Revue des Questions scientifiques veröffentlicht werden.

[3]) Vergl. P. Duhem: Albert de Saxe et Léonard de Vinci. (Bulletin italien, t. V, p. 1, et p. 113; 1905).

de Saxe weit über das Mittelalter hinaus ihren mächtigen Einfluß. Guido-Ubaldo del Monte formuliert sie klar[1]): „Wenn wir sagen, daß ein schwerer Körper durch eine natürliche Hinneigung dem Zentrum des Universums zustrebt, wollen wir ausdrücken, daß der eigene Schwerpunkt des schweren Körpers sich mit dem Zentrum des Universums vereinigen will." Diese Lehre von Albert de Saxe beherrschte noch während des ganzen XVII. Jahrhunderts das Denken vieler Physiker. Sie regt alle jene Überlegungen an, die denjenigen, der diese Lehre nicht kennt, sehr befremden, jene Überlegungen, durch die Fermat seinen geostatischen Satz stützte[2]). Im Jahre 1636 schrieb[3]) Fermat an Roberval, der die Berechtigung seiner Argumente bestritt: „Der erste Einwand besteht darin, daß Sie nicht zugeben wollen, daß die Mitte einer Linie, die zwei gleiche, frei fallende Gewichte verbindet, dem Zentrum der Erde zustrebt. Es scheint mir sicher, daß sie darin gegen die natürliche Einsicht und die grundlegenden Prinzipien verstoßen." Die durch Albert de Saxe formulierten Lehrsätze hatten aufgehört zu den selbstverständlichen Wahrheiten zu gehören.

Die kopernikanische Revolution stürzte, indem sie das geozentrische System beseitigte, die eigentliche Grundlage, auf denen diese Theorie der Schwere ruhte, um.

Der schwere Körper par excellence, die Erde strebt nicht mehr danach, sich in das Zentrum des Universums zu stellen; die Physiker müssen die Theorie der Schwere auf neue Hypothesen stützen; welche Betrachtungen werden sie zu diesen Hypothesen anregen? Analogiebetrachtungen; sie werden den Fall der schweren Körper gegen die Erde mit der Bewegung des Eisens gegen den Magneten vergleichen.

[1]) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis: In duos Archimedis aequiponderantium libros paraphrasis, scholiis illustrata, Pisauri, 1588, p. 10.

[2]) Vergl. P. Duhem: Les origines de la Statique, c. XVI: La doctrine d'Albert de Saxe et les Géostaticiens. Dieses Kapitel wird demnächst in der Revue des Questions scientifiques erscheinen.

[3]) Fermat: Oeuvres, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry, t. II, Correspondance, p. 31.

Die Ordnung verlangt, daß ein homogener Körper die Erhaltung seiner Integrität erstrebt; die verschiedenen Teile dieses Körpers müssen daher mit einer derartigen substantiellen Form versehen sein, daß sie jeder Bewegung, die ihre Trennung bewirken würde, Widerstand leisten und daß sie nach ihrer Wiedervereinigung streben, wenn irgend eine Gewalt sie getrennt hat. Ähnliches zieht somit Ähnliches an. Dies ist der Grund, warum der Magnet den Magneten anzieht.

Anderseits sind das Eisen und seine Erze mit dem Magneten verwandt; wenn man sie in die Nachbarschaft eines Magneten bringt, so erfordert die Vollkommenheit des Universums, daß sie sich mit diesem Körper vereinigen; das ist der Grund, warum ihre substantielle Form in der Nachbarschaft eines Magneten geändert wird, warum sie eine magnetische Kraft erhalten, durch die sie sich gegen den Magneten bewegen.

So ist die Lehre über die magnetischen Wirkungen beschaffen, die die peripathetische Schule und speziell Averroës und der heilige Thomas einhellig vertreten.

Im XIII. Jahrhundert wurden diese Wirkungen näher studiert; man konstatiert, daß jeder Magnet zwei Pole besitzt, daß die ungleichnamigen Pole sich anziehen, die gleichnamigen sich abstoßen. Im Jahre 1269 gibt Pierre de Maricourt, der unter dem Namen Petrus Peregrinus besser bekannt ist, eine Beschreibung[1]) dieser Wirkungen, die ein Wunder an Klarheit und experimentellem Scharfsinn ist.

Aber diese neuen Entdeckungen bewirkten nur eine Festigung der peripathetischen Lehre, indem sie sie präzisierten; wenn man einen natürlichen Magneten zerbricht, besitzen die beiden Bruchflächen ungleichnamige Pole. Die substantiellen Formen der beiden Bruchstücke sind derart, daß sich diese

[1]) Epistola Petri Peregrini Maricurtensis ad Sygerum de Foucaucourt militem, de magnete; actum in castris, in obsidione Lucerae, anno Domini MCCLXIX, VIII die Augusti. — Gedruckt bei P. Gasser in Augsburg 1558. Wieder gedruckt in Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann. No. 10, Rara Magnetica (Berlin, Asher 1896).

gegeneinander bewegen und sich wieder zu vereinigen suchen. Die magnetische Kraft ist demnach derartig, daß sie die Integrität des Magneten zu bewahren strebt, oder auch, wenn dieser Magnet gebrochen wurde, einen einzigen Magneten wieder herzustellen sucht, dessen Pole ebenso angeordnet sind, wie die des ursprünglichen Magneten[1]).

Die Schwere hat eine analoge Ursache. Die Erdpartikeln sind mit einer derartigen substantiellen Form versehen, daß sie mit dem Gestirn, dessen Teil sie bilden, vereinigt bleiben und ihm die Kugelgestalt erhalten. Der Vorläufer von Kopernikus, Leonardo da Vinci, verkündet bereits[2]) „wie die Erde nicht in der Mitte der Sonnenbahn, noch in der Mitte der Welt sei, sondern, daß sie sich in der Mitte ihrer Partikeln, die sie begleiten und mit ihr vereinigt sind, befinde." Alle Teile der Erde streben zu deren Schwerpunkt und dadurch wird die Kugelgestalt der Wasseroberfläche bewirkt, eine Gestalt, von der der Tautropfen ein Bild gibt.

Kopernikus verwendet am Beginn des ersten Buches seiner Abhandlung über die Himmelsbewegungen[3]) beinahe dieselben Ausdrücke wie Leonardo da Vinci und bedient sich derselben Vergleiche. „Die Erde ist kugelförmig, weil alle ihre Teile dem Schwerpunkt zustreben." Das Wasser und die Erde streben beide zu ihm hin, was der Wasseroberfläche die Gestalt eines Teiles einer Kugel verschafft. Die Kugel wäre vollkommen, wenn das Wasser in hinreichender Menge vorhanden wäre. Außerdem haben auch die Sonne, der Mond und die Planeten Kugelgestalt, was sich bei jedem dieser Himmelskörper, ebenso wie bei der Erde, erklären läßt.

„Ich denke[4]), daß die Schwere nichts anderes als ein gewisses natürliches Streben sei, welches den Teilen der Erde

[1]) Petrus Peregrinus: Loc. cit. Ire part. c. IX.

[2]) Les Manuscrits de Léonard de Vinci, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. F. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 41, verso. Dieses Heft enthält die Bemerkung: Begonnen zu Mailand am 12. September 1508.

[3]) Nicolai Copernici: De revolutionibus orbium coelestium libri sex.; l. I, cc. I, II, III, Norimbergae, 1543.

[4]) Nicolai Copernici: De revolutionibus orbium coelestium libri sex; l. I, c. IX; Norimbergae 1543.

durch die göttliche Vorsehung des Erbauers des Universums gegeben worden ist, damit sie in ihre Einheit und Integrität zurückgeführt werden, indem sie sich in der Form einer Kugel vereinigen. Man kann wohl glauben, daß dieselbe Eigenschaft sich auch in der Sonne, dem Mond und den anderen wandelnden Leuchten finde, damit durch die Wirkung dieser Eigenschaft sie die runde Gestalt behalten, in der sie uns erscheinen."

Ist diese Schwere universell? Wird eine Masse, die einem Himmelskörper angehört, gleichzeitig durch den Schwerpunkt dieses Körpers und durch den Schwerpunkt der anderen Gestirne beeinflußt? Nichts in den Schriften von Kopernikus zeigt an, daß er ein derartiges Streben für zulässig gehalten hätte; alles in den Schriften seiner Schüler zeigt, daß das Streben gegen das Zentrum eines Gestirns gemäß ihrer Meinung den Teilen dieses Gestirnes eigentümlich sei. Im Jahre 1626 resümierte[1]) Mersenne ihre Lehre, nachdem er folgende Definition gegeben hatte: „Das Zentrum des Universums ist jener Punkt, dem alle schweren Körper geradlinig zustreben und der der gemeinsame Schwerpunkt aller Körper ist", er fügte hinzu: „Man nimmt es an, aber man kann es nicht beweisen; denn es existiert wahrscheinlich ein besonderer Schwerpunkt in jedem der besonderen Systeme, die das Universum bilden oder, mit anderen Worten, in jedem der großen Himmelskörper."

Mersenne äußerte jedoch in betreff dieser Lehre einen Zweifel zugunsten der Hypothese einer universellen Schwere; ein wenig weiter schrieb er in der Tat[2]): „Wir nehmen an, daß alle schweren Körper nach dem Weltzentrum streben und sich gegen dasselbe geradlinig mit einer natürlichen Bewegung begeben. Das ist ein Lehrsatz, dem beinahe jedermann beipflichtet, obwohl er keineswegs bewiesen ist; wer weiß, ob die Teile eines Gestirnes, wenn sie von ihm weggerissen würden, nicht gegen dieses Gestirn gravitieren und dahin zurückkehren würden, wie die Steine, die von der Erde los-

[1]) Mersenne: Synopsis mathematica; Lutetiae, ex officina Rob. Stephani, MDCXXVI, Mechanicorum libri p. 7.

[2]) Mersenne: loc. cit. p. 8.

gelöst und auf dieses Gestirn gebracht, zur Erde zurückzukehren würden? Wer weiß, ob Steine der Erde, die dem Monde näher sind als der Erde, nicht eher gegen den Mond, als gegen die Erde fallen würden?" In diesem letzten Satz zeigte sich Mersenne, wie wir sehen werden, eher versucht der Lehre Keplers als der des Kopernikus zu folgen.

Treuer und strenger hält Galilei an der kopernikanischen Theorie der besonderen Schwere eines jeden Gestirnes fest. Vom ersten Tag des berühmten Dialogs über die zwei Weltsysteme an lehrt er durch den Mund Salviatis, daß „die Teile der Erde sich bewegen, nicht um zum Weltzentrum zu gelangen, sondern um sich zu einem Ganzen zu vereinigen; das rührt daher, daß sie eine natürliche Neigung haben, sich dem Zentrum der Erdkugel zu nähern, eine Neigung, durch die sie sich vereinigen, um sie zu bilden und zu erhalten ..."

„Da alle Teile der Erde sich übereinstimmend vereinigen, um sie als Ganzes zu bilden, so eilen sie von jeder Seite mit einer gleichen Neigung herbei; und damit sie sich möglichst vereinigen können, nehmen sie Kugelgestalt an. Müssen wir daher nicht glauben, daß, wenn auch der Mond, die Sonne und die anderen großen Körper, die die Welt bilden, gleichfalls Kugelgestalt besitzen, dies nur daher rühren kann, daß sie einen übereinstimmenden Trieb in sich haben und daß ein natürliches Zusammenfließen all ihre Teile bewege? Ist es daher nicht vernünftig zu glauben, daß wenn einer dieser Teile irgendwie gewaltsam vom Ganzen getrennt wird, er von selbst und infolge eines natürlichen Instinktes zu diesem zurückkehren würde?"

Sicherlich besteht zwischen einer derartigen Theorie und der des Aristoteles ein tiefer Unterschied. Aristoteles wies mit aller Kraft die Lehre der alten Physiologen, die wie Empedokles in der Schwere eine Zuneigung von Ähnlichem zu Ähnlichem sahen, zurück. Im vierten Buch des De Coelo behauptet er, daß die schweren Körper nicht fallen, um sich mit der Erde, sondern um sich mit dem Zentrum des Universums zu vereinigen. Und weiter, daß wenn die Erde von ihrem Platz weggerissen und in der Bahn des Mondes festgehalten

würde, die Steine nicht zur Erde, sondern zum Weltzentrum fallen würden.

Von der Theorie des Aristoteles halten die Kopernikaner soviel als möglich aufrecht. Für sie ist, ebenso wie für den Stagiriten, die Schwere eine dem schweren Körper innewohnende Tendenz und nicht eine von einem fremden Körper ausgeübte gewaltsame Anziehung; für sie, wie für den Stagiriten besteht diese Tendenz gegen einen mathematischen Punkt hin; dieser Punkt ist das Zentrum der Erde oder das Zentrum des Sternes, welchem der studierte Körper angehört; für sie, wie für den Stagiriten ist diese Tendenz aller Teilchen gegen einen Punkt der Grund für die Kugelgestalt eines jeden Himmelskörpers.

Galilei geht noch weiter und überträgt auf das kopernikanische System die Theorie von Albert de Saxe. Bei der Definition des Schwerpunktes eines Körpers sagt er in seiner berühmten Schrift Della scienza meccanica: „Das ist auch jener Punkt, der sich mit dem universellen Zentrum der schweren Dinge zu vereinigen sucht, d. h. mit dem der Erde"; und dieser Gedanke leitet ihn, wenn er folgendes Prinzip formuliert: Ein System schwerer Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn der Schwerpunkt dieses Systemes sich möglichst nahe beim Erdzentrum befindet.

Es lag daher im Wesen der kopernikanischen Physik, das Streben eines jeden Elementes zu seinem natürlichen Ort zu leugnen und dieses Streben durch die gegenseitige Zuneigung der Teile eines Ganzen, die dieses Ganze wieder herzustellen suchen, zu ersetzen. In der Zeit, in der Kopernikus diese Zuneigung zu Hilfe nahm, um die jedem Gestirn eigentümliche Schwere zu erklären, formulierte Fracasto die allgemeine Theorie derselben[1]): Wenn zwei Teile desselben Ganzen voneinander getrennt sind, sendet jeder derselben zum anderen eine Ausstrahlung seiner substantiellen Form, eine species, welche sich im Zwischenraum fortpflanzt; durch die Berührung dieser species strebt jeder der Teile gegen

[1]) Hieronymi Fracastorii: De sympathia et antipathia rerum, iber unus (Hieronymi Fracastorii: Opera omnia; Venetiis MDLV).

den anderen, damit sie sich zu einem einzigen Ganzen vereinigen; so erklären sich die wechselseitigen Anziehungen von Ähnlichem, deren Typus die Zuneigung des Eisens zum Magneten ist.

Nach dem Beispiel von Fracasto nahmen die meisten Ärzte und Astrologen (es war selten, daß man nicht gleichzeitig das eine wie das andere war) gerne auf solche Zuneigungen Bezug; wir werden übrigens sehen, daß die Rolle der Ärzte und Astrologen keineswegs von geringem Einfluß auf die Entwicklung der Lehre von der allgemeinen Anziehung gewesen ist.

Niemand hat dieser Lehre von den Zuneigungen weitere Ausdehnung gegeben, als W. Gilbert. In dem Werke, das für die Theorie des Magnetismus grundlegend war, durch das er die wissenschaftliche Arbeit des XVI. Jahrhunderts abschließt, gibt Gilbert in betreff der Schwere ähnlichen Ideen wie Kopernikus Ausdruck: „Die einfache und gerade Bewegung gegen den Boden, wie sie von den Peripathetikern betrachtet wurde, die Bewegung des schweren Körpers", sagt er[1]), „ist eine Bewegung der Wiedervereinigung (coacervatio) der getrennten Teile, die auf Grund der Materie, die sie bildet, sich in geraden Linien gegen die Erde wenden, wobei diese Linien auf dem kürzesten Wege zum Zentrum führen. Die Bewegungen der magnetischen, von der Erde getrennten Teilchen, bestehen abgesehen von der Bewegung, die sie mit dem Ganzen vereinigt, aus den Bewegungen, welche sie miteinander vereinigen, und denen, durch die sie in Anbetracht der Harmonie und Übereinstimmung gegen das Ganze gewendet und geleitet werden." — „Diese geradlinige Bewegung[2]), die nur die Neigung zu ihrem Ursprung ist, ist nicht nur den Teilchen der Erde, sondern auch den Teilchen der Sonne, des Mondes und der anderen Himmelskörper eigen." Diese Anziehungskraft ist übrigens keineswegs eine allgemeine Schwere; sie ist eine Kraft, die jedem Gestirn eigentümlich ist, wie der Magnetis-

[1]) Gulielmi Gilberti Colcestrensis, medici Londinensis, De magnete, magneticis corporibus, et de magno magnete Tellure, physiologia nova; Londini 1600, p. 225.

[2]) Gilbert: Loc. cit. p. 227.

mus der Erde oder dem Magneten: „Geben wir nun", sagt Gilbert[1]), „den Grund dieser Vereinigung und dieser Bewegung, die die ganze Natur ergreift an ... Es ist dies eine spezielle, eigentümliche, substantielle Form, die den Haupthimmelskörpern eigen ist; es ist dies eine eigentümliche Entität und Wesenheit ihrer homogenen und nicht verdorbenen Teilchen, welche wir primäre, wurzelhafte und astrale Form nennen können; das ist nicht die primäre Form des Aristoteles, sondern jene spezielle Form, durch die die Kugel das, was ihr eigentümlich ist, bewahrt und festsetzt. In jeder der Kugeln, in der Sonne, dem Mond, den Sternen gibt es eine derartige Form; es gibt auch eine in der Erde; sie bildet jenes wahre, magnetische Vermögen, welches wir als primäre Kraft bezeichnen. Es gibt daher eine magnetische Natur, die der Erde eigentümlich ist und die durch einen primären unseres Erstaunens wohl würdigen Grund in jedem ihrer Teile wirklich bestehen bleibt ... Es gibt in der Erde eine magnetische Kraft, die ihr eigentümlich ist, wie es eine substantielle Form in der Sonne und im Mond gibt; der Mond verfügt über die Teile, welche sich von ihm losgelöst, in einer Art, wie sie dem Monde entspricht, entsprechend seiner Form und den Grenzen, die ihm gesetzt sind; ein Stück der Sonne bewegt sich gegen die Sonne, wie ein Magnet gegen die Erde oder einen anderen Magneten durch seine natürliche Neigung und wie wenn er angelockt worden wäre."

Diese Gedanken sind in dem Buch von Gilbert über den Magneten ausgestreut. In der Schrift über das Weltsystem, das er verfaßt hat und das sein Bruder nach seinem Tode publizierte[2]) werden sie breit entwickelt und gewinnen dominierenden Einfluß. Der Hauptgedanke dieser Schrift ist in folgender Stelle zusammengefaßt[3]): „Alles, was irdisch ist, vereinigt sich

[1]) Gilbert: Loc. cit. p. 65.

[2]) Gulielmi Gilberti Colcestrensis, medici Regii, De mundo nostro sublunari philosophia nova; Opus posthumum, ab authoris fratre collectum pridem et dispositum. Amstelodami MDCLI. — Gilbert starb im Jahre 1603.

[3]) Gilbert: Loc. cit. p. 115.

mit der Erdkugel; und ebenso strebt alles, was mit der Sonne gleichartig ist, der Sonne, alle dem Mond angehörigen Dinge dem Monde zu und dasselbe gilt für alle Körper, die das Universum bilden. Jedes Teilchen eines solchen Körpers haftet an seinem Ganzen und trennt sich nicht freiwillig von ihm; wenn es weggerissen wurde, strebt es nicht nur dahin zurückzukehren, sondern es wird gerufen und angelockt durch die Kräfte der Kugel. Wenn es nicht so wäre, wenn die Teile sich von selbst trennen könnten, wenn sie nicht zu ihrem Ursprung zurückkehren würden, wäre die ganze Welt bald aufgelöst und in Verwirrung. Es handelt sich nicht um eine Begierde, die die Teile zu einem gewissen Platz, einem gewissen Raum, einem gewissen Punkt führt, sondern um eine Neigung zu dem Körper hin, zu der gemeinsamen Quelle, zu der Mutter, der sie entstammen, zu ihrem Ursprung, wo alle diese Teile sich vereinigt, bewahrt finden und wo sie in Ruhe vor jeder Gefahr gefeit, bleiben werden."

Die magnetische Philosophie von Gilbert gewann unter den Physikern zahlreiche Anhänger; begnügen wir uns Francis Bacon[1]) zu erwähnen, dessen Meinungen die verworrene Widerspiegelung der Lehren seines gelehrten Zeitgenossen sind und gehen wir sogleich zum wahren Schöpfer der allgemeinen Gravitation, zu Kepler über.

Während Kepler in vielen Wiederholungen seine Bewunderung für Gilbert ausspricht, während er sich zugunsten der magnetischen Philosophie erklärt, geht er daran, alle ihre Prinzipien zu ändern; er ersetzt das Streben der Teile eines Gestirns gegen das Zentrum desselben durch die wechselseitige Anziehung von Teil zu Teil; er erklärt, daß diese Anziehung aus ein und derselben Kraft hervorgehe, ob es sich nun um Teile des Mondes oder um Teile der Erde handle. Er läßt jede Betrachtung von Endzwecken außer Spiel, die diese Kraft an die Erhaltung der Gestalt eines jeden Gestirnes knüpfen; er bahnt mit einem Wort alle Wege, die die Lehre von der allgemeinen Gravitation gehen wird.

[1]) Bacon: Novum organum l. II, c. XLVIII, artt. 7, 8, 9.

Vor allem leugnet Kepler, daß irgend ein magnetischer Punkt, sei es nun das Zentrum der Erde, wie es Kopernikus, sei es das Zentrum des Universums, wie es Aristoteles meinte, ein Anziehungs- oder Abstoßungsvermögen besitzen könne: „Das Bestreben des Feuers[1]) besteht nicht darin, die Fläche, welche die Welt begrenzt, zu erreichen, sondern das Zentrum zu fliehen; und zwar nicht das Zentrum des Universums, sondern das Zentrum der Erde; und dieses Zentrum nicht nur insoweit es ein Punkt ist, sondern insoweit es sich in der Mitte eines Körpers befindet, welcher Körper der Natur des Feuers, welches sich ausdehnen will, sehr entgegengesetzt ist; ich sage noch mehr, die Flamme flieht nicht, sondern sie wird durch die schwerere Luft gejagt, wie eine Luftblase durch das Wasser ... Wenn man die unbewegliche Erde an irgend einen Ort stellen und eine größere Erde nähern würde, würde die erstere in bezug auf die zweite schwer und von ihr angezogen, wie der Stein von der Erde angezogen wird. Die Schwere ist keine Wirkung, sondern ein Trieb des Steines, der angezogen wird."

„Ein mathematischer Punkt[2]), sei es nun das Zentrum der Welt oder irgend ein anderer Punkt, könnte nicht tatsächlich die schweren Körper bewegen; noch weniger könnte er das Objekt sein, dem sie zustreben. Mögen daher die Physiker beweisen, daß eine derartige Kraft einem Punkte eigen sein kann, der kein Körper ist und der nur in ganz relativer Weise begreifbar ist!"

„Es ist unmöglich, daß die substantielle Form des Steines, wenn sie diesen Stein als Körper in Bewegung setzt, einen mathematischen Punkt, zum Beispiel das Zentrum der Welt suche, unbekümmert um den Körper, in dem sich dieser Punkt befindet. Mögen daher die Physiker zeigen, daß die natürlichen Dinge Sympathie für das haben, was nicht existiert!"

---

[1]) Jo. Kepleri: Littera ad Herwartum, 28. März 1605. — Joannis Kepleri astronomi Opera omnia, édit Ch. Frisch, t. II, p. 87.

[1]) Joannis Kepleri: De motibus stellae Martis commentarii, Pragae, 1609. — Kepleri: Opera omnia t. III, p. 151.

„... Hier haben wir die wahre Lehre über die Schwere: Die Schwere ist eine wechselseitige Zuneigung unter verwandten Körpern, die sie zu vereinigen und zu verbinden sucht; die magnetische Kraft ist eine Eigenschaft gleicher Art; die Erde zieht viel eher den Stein an, als daß der Stein zur Erde strebt. Selbst wenn wir das Erdzentrum in das Weltzentrum setzen würden, wäre es nicht das Weltzentrum, gegen das die schweren Körper sich bewegen würden, sondern das Zentrum des runden Körpers, mit dem sie verwandt sind, das heißt das Zentrum der Erde. An welchen Ort man auch die Erde bringe, immer werden sich die schweren Körper, dank der Kraft, die ihr innewohnt, zu ihr bewegen. Wenn die Erde nicht rund wäre, würden die schweren Körper nicht von jeder Seite gerade zum Erdzentrum bewegt werden, sondern sie würden, je nachdem von welchem Platz sie kommen, sich nach verschiedenen Punkten bewegen. Wenn sich an einem gewissen Punkt der Welt zwei Steine befinden würden, die einander nahe und außerhalb der Kraftsphäre irgend eines anderen, ihnen verwandten Körpers wären, so würden diese Steine nach Art zweier Magneten sich an einem dazwischen liegenden Ort zu vereinigen suchen und die Wege, die sie zurücklegen würden, wären umgekehrt proportional ihren Massen."

Diese wahre Lehre über die Schwere verbreitete sich bald in Europa und fand die Anerkennung vieler Mathematiker. Schon im Jahre 1626 erwähnt sie Mersenne in seiner Synopsis mathematica. Am 16. August 1636 schreiben Étienne Pascal und Roberval an Fermat einen Brief[1]), dessen Hauptgegenstand die Bestreitung des alten Prinzipes von Albert de Saxe ist, das von dem Toulouser Mathematiker eifrig gehütet wurde, „daß wenn zwei gleiche Gewichte durch eine gerade, feste und gewichtslose Linie verbunden und so angeordnet sind, daß sie frei fallen können, sie nicht zur Ruhe kommen werden, bis die Mitte der Linie (die der Schwerpunkt der Alten ist) sich mit dem gemeinsamen Zentrum

[1]) Fermat: Oeuvres, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry; t. II, Correspondance, p. 35.

der schweren Dinge vereinigt hat". Diesem Prinzip halten sie folgendes entgegen: „Es kann sein und es ist sehr wahrscheinlich, daß die Schwere eine wechselseitige Anziehung oder ein natürlicher Wunsch sei, den die Körper haben, um sich miteinander zu vereinigen, wie dies beim Eisen und beim Magneten klar ist, die derartig beschaffen sind, daß, wenn der Magnet festgehalten wird, das Eisen keineswegs verhindert ist, ihn aufzusuchen; wenn das Eisen festgehalten wird, geht der Magnet zu ihm; und wenn beide frei sind, werden sie sich gegenseitig nähern und zwar in der Art, daß der Stärkere der beiden den kleineren Weg zurücklegen wird."

Haben die Körper, die sich auf der Erde befinden, kein anderes magnetisches Vermögen als das, welches sie zum Boden, von dem sie entfernt wurden, zurückbringt und das ihre Schwere bildet?

Die Bewegung, welche das Wasser des Meeres aufwühlt und die Flut hervorbringt, folgt so genau dem Durchgang des Mondes durch den Meridian, daß man den Mond als die Ursache dieser Erscheinung betrachten mußte, sobald deren Gesetze mit einiger Genauigkeit erkannt worden waren. Die Beobachtungen[1]) von Eratosthenes, Seleucus, Hypparch und vor allem von Posidonius verschafften den alten Philosophen eine Kenntnis dieser Gesetze, die so vollständig war, daß Cicero, Plinius der Ältere, Strabo und Ptolemäus nicht zögerten, die Behauptung aufzustellen, daß die Erscheinung der Gezeiten von der Bewegung des Mondes abhänge. Aber diese Abhängigkeit wurde vor allem durch die ins einzelne gehende Beschreibung der verschiedenen Unregelmäßigkeiten der Flut, die der arabische Astronom Albumasar im IX. Jahrhundert in seinem Introductorium magnum ad Astronomiam gab, festgestellt.

Der Mond bestimmt somit das Anschwellen des Wassers des Ozeans; aber in welcher Weise bestimmt er es?

---

[1]) Vergl.: Roberto Almagia: Sulla dottrina della marea nell' antichità classica e nel medio evo (Atti del Congresso internationale di Scienze storiche, Roma, 1—9 aprile 1903; vol. XII, p. 151).

Ptolemäus, Albumasar zögern nicht, sich auf eine eigenartige Kraft, auf einen besonderen Einfluß des Mondes auf das Meerwasser zu berufen. Eine derartige Erklärung war keineswegs geeignet, den wirklichen Schülern des Aristoteles zu gefallen. Was man auch in dieser Beziehung gesagt haben mag, die orthodoxen Peripathetiker, sowohl die Araber als die Lehrer der westlichen Scholastik, bekämpften heftig die Erklärungen, in denen man auf verborgene, den Sinnen unzugängliche Kräfte Bezug nahm. Die Wirkung des Magneten auf das Eisen war beinahe die einzige dieser mysteriösen Kräfte, die sie anzuerkennen geneigt waren. Sie anerkannten nicht, daß die Sterne irgend einen Einfluß ausüben könnten, der nicht von ihrer Bewegung oder ihrem Licht herrührt. Es war daher das Licht des Mondes, die Wärme, die dieses Licht erzeugen kann, die Strömungen, die durch diese Wärme in der Atmosphäre bestimmt werden können, das Aufwallen, das sie im Innern der Meeresgewässer hervorbringen kann, denen Avicenna, Averrhoës, Robert Grosse-Teste, Albertus Magnus, Roger Bacon die Erklärung von Flut und Ebbe zuschrieben.

Dies war eine recht schwach fundierte Erklärung, die von vornherein durch allzu naheliegende Einwände zunichte gemacht wurde. Schon Albumasar hatte beobachtet, daß das Mondlicht nichts mit der Meeresflut zu tun habe, da diese Flut ebensowohl bei Neumond wie bei Vollmond entsteht, da sie in gleicher Weise eintritt, ob nun der Mond im Zenith oder im Nadir steht. Die ein wenig kindische Erklärung, die Robert Grosse-Teste vergeschlagen hatte, um diesen letzteren Vorwand zu beheben, konnte trotz der enthusiastischen Zustimmung Roger Bacons die Argumentation Albumasars nicht zunichte machen. Seit dem XIII. Jahrhundert hielten die Besten unter den Scholastikern, unter anderen der heilige Thomas von Aquino die Möglichkeit von den Sternen eigentümlichen, vom Licht verschiedenen Einflüssen für zulässig; damals verglich Guillaume d'Auvergne in seiner Schrift De Universo die Wirkung des Mondes auf die Meeresgewässer mit der Wirkung des Magneten auf das Eisen.

Die magnetische Theorie der Gezeiten ist den großen Physikern, die um die Mitte des XIV. Jahrhunderts die nominalistische Schule der Sorbonne zierten, bekannt; Albert de Saxe, Thimon le Juif legen sie in ihren Fragen über den De Coelo und über die Meteore des Aristoteles dar; aber sie zögern ihr voll und ganz zuzustimmen; sie kennen allzugut den Wert der Einwände Albumasars, um sich rückhaltlos bei den Erklärungen von Albertus Magnus und Roger Bacon zu beruhigen; dabei widerspricht diese verborgene magnetische Anziehung, die durch den Mond auf die Meeresgewässer ausgeübt wird, ihrem peripathetischen Rationalismus.

Die Kraft, deren Zeugnis die Gezeiten sind, war dagegen wohl geeignet, das Wohlgefallen der Astrologen zu finden. Sie sahen in ihr den unleugbaren Beweis der Einflüsse, die die Gestirne auf die Dinge unter dem Monde ausüben. Nicht minder war diese Hypothese bei den Ärzten in Gunst. Sie verglichen die Rolle, die die Gestirne bei dem Phänomen der Gezeiten spielen, mit der, die sie ihnen bei den Krisen der Krankheiten zuschrieben. War es nicht Galen, der die kritischen Tage der schleimabsondernden Krankheiten mit den Phasen des Mondes in Zusammenhang brachte?

Am Ende des XV. Jahrhunderts nimmt Jean Pic de La Mirandole mit Entschlossenheit die peripathetische These von Avicenna und Averrhoës wieder auf[1]), er leugnet, daß die Sterne hier unten irgend wie anders als durch ihr Licht wirken können; er verwirft jede die Zukunft verkündende Sterndeutekunst als Illusion; er weist die medizinische Lehre der kritischen Tage zurück und erklärt gleichzeitig die magnetische Theorie der Gezeiten für irrtümlich.

Die Herausforderung, die Jean Pic de La Mirandole an die Astrologen und Mediziner richtete, wurde von einem Arzt aus Siena, Lucius Bellantius, sogleich in einer Schrift[2]), deren

[1]) Joannis Pici Mirandulae: Adversus astrologos; Bononiae, 1495.

[2]) Lucii Bellantii Senensis: Liber de astrologica veritate et in disputationes Joannis Pici adversus astrologos responsiones; Bononiae, 1495; Florentiae, 1498; Venetiis, 1502; Basileae, 1504.

Auflagen unausgesetzt aufeinanderfolgten, aufgenommen. Im III. Buch dieses Werkes schreibt der Autor, indem er das, was Pic de La Mirandole über die Gezeiten gesagt hatte, prüft, folgende Zeilen: „Die Strahlen, durch die der Mond wirkt, insbesondere, wenn er die Gewässer des Meeres anzieht und anschwellen macht, sind nicht die Strahlen des Mondlichtes; denn im Augenblick der Konjunktionen würde es dann keine Flut und Ebbe geben, die wir aber zu dieser Zeit konstatieren können; es sind virtuelle Strahlen, durch die der Mond das Meer anzieht, wie der Magnet das Eisen. Mit Hilfe dieser Strahlen schlägt man leicht alle Einwände über diesen Gegenstand nieder."

Das Buch von Lucius Bellantius war ohne Zweifel das Signal, daß die magnetische Theorie neue verdoppelte Zustimmung fand; von der Mitte des XVI. Jahrhunderts wird diese Theorie ganz allgemein anerkannt.

Kardano[1]) zählt unter die sieben einfachen Bewegungen: „... abermals, eine andere natürliche, die durch einen gewissen Gehorsam der Dinge bewirkt wird, wie die des Wassers, die vom Monde herrührt, wie die des Eisens, die vom Magneten, der Stein des Herkules genannt wird, herrührt."

Julius-Caesar Scaliger teilt[2]) auch diese Ansicht: „Das Eisen", sagt er, „wird durch den Magneten bewegt, ohne mit ihm in Berührung zu sein; warum soll nicht ebenso das Meer dem Körper eines sehr erhabenen Sternes folgen?"

Duret erwähnt[3]) die Meinung von Lucius Bellantius, allerdings ohne sie zu akzeptieren: „Dieser Autor behauptet, daß der Mond die Meeresgewässer nicht durch die Lichtstrahlen anziehe, sondern durch die Kraft und das Vermögen gewisser,

[1]) Les livres d'Hiérome Cardanus, médecin milanois, intitulés de la subtilité et subtiles inventions, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc, Paris, 1556, p. 35.

[2]) Julii Caesaris Scaligeri: Exercitationes exotericae de subtilitate adversus Cardanum, Exercitatio LII.

[3]) Claude Duret: Discours de la vérité des causes et effects de divers cours, mouvemens, flux et reflux de la mer océane, mer méditerannée et autres mers de la Terre. Paris, 1600, p. 204.

ihm eigentümlicher, verborgener Eigenschaften, ebenso wie der Magnet auf das Eisen wirkt."

Gilbert endlich lehrt[1]), daß „der Mond auf das Meer nicht durch seine Strahlen, nicht durch sein Licht wirke. Wie wirkt er nun? Durch das Zusammenwirken der zwei Körper, und um meinen Gedanken mit Hilfe einer Analogie zu erklären, durch die magnetische Anziehung."

Diese Wirkung des Mondes auf die Gewässer des Meeres gehört übrigens zu jenen sympathischen Neigungen des Gleichen zum Gleichen, in denen die Kopernikaner die Erklärung der Schwere sehen. Jeder Körper hat eine derartige substantielle Form, daß er sich mit einem anderen Körper gleicher Art zu vereinigen sucht; es ist daher natürlich, daß das Wasser des Meeres sich wieder mit dem Monde zu vereinigen sucht, der für die Astrologen wie für die Ärzte das feuchte Gestirn im wahrsten Sinne des Wortes ist.

Wie Ptolemäus in seinem Opus quadripartitum und Albumasar in seinem Introductorium magnum ausführen, soll der Saturn Kälte erzeugen, der Jupiter mäßige Wärme, der Mars brennende Hitze, während der Mond Feuchtigkeit hervorbringen soll. Die Wirkung des Mondes auf die Gewässer des Meeres besteht daher in der Zuneigung zweier Körper der gleichen Familie, in einer cognata virtus, wie der arabische Autor sagt.

Diese Lehren wurden von den Ärzten und Astrologen des Mittelalters und der Renaissance beibehalten: „Man kann nicht", sagt Kardano[2]) „an dem durch die Gestirne ausgeübten Einfluß zweifeln; es ist dies eine geheime Wirkung, die alle verborgenen Dinge regiert; und dennoch wagen gewisse unredliche, ehrgeizige und noch mehr ungläubige Geister, wie Herostrat, dieselben zu leugnen ... Sehen wir nicht, daß selbst unter den Substanzen der Erde es solche gibt, wie den Magneten, dessen Eigenschaften deutliche Wirkungen ausüben? ... Warum sollen wir solche Wirkungen dem Fir-

[1]) Gulielmi Gilberti: De mundo nostro philosophia nova, p. 307.

[2]) Hieronymi Cardani: De rerum varietate libri XVII, l. II, c. XIII; Basileae, 1557.

mament, dem ewigen und hoch erhabenen Körper absprechen? ... Durch ihre Größe, durch die Menge von Licht, die sie verbreitet, ist die Sonne der Hauptlenker aller Dinge. Nachher kommt aus denselben Gründen der Mond, weil er uns als das größte Gestirn nach der Sonne erscheint, obwohl er es in Wirklichkeit nicht ist. Er beherrscht vor allem die feuchten Dinge, die Fische, die Gewässer, das Mark und Gehirn der Tiere und unter den Wurzeln die Knollen und Zwiebeln, die vor allem Feuchtigkeit enthalten."

Kepler selbst, der sich mit solcher Kraft gegen die ungerechtfertigten Ansprüche der Astrologie wendet, scheut sich nicht zu schreiben[1]: „Die Erfahrung beweist, daß alles, was Feuchtigkeit enthält, beim Wachsen des Mondes aufschwillt und beim Abnehmen des Mondes schlaff wird."

Kepler schmeichelt sich[2]) der erste gewesen zu sein, der jene Meinung umgestürzt hat, nach der die Flut in dem Bestreben der Meeresgewässer besteht, sich mit der Feuchtigkeit des Mondes zu vereinigen. „Ebenso wie die Flut und Ebbe des Meeres sichere Dinge sind, ebenso sicher ist es, daß die Mondfeuchtigkeit mit der Ursache dieser Erscheinung nichts zu tun hat. Ich bin, so weit ich weiß, der erste, der den Vorgang, durch den der Mond die Flut und Ebbe des Meeres verursacht, klargestellt hat und zwar in meinen Prolegomena zu den Kommentaren über die Bewegungen des Mars. Er besteht in folgendem: Der Mond wirkt nicht als feuchter oder benetzender Körper, sondern als Masse, die der Masse der Erde verwandt ist; er zieht die Gewässer des Meeres durch eine magnetische Wirkung an, nicht weil sie feucht, sondern weil sie mit Erdsubstanz versehen sind, einer Substanz, der sie gleicherweise ihre Schwere verdanken."

Die Flut ist wohl eine Neigung, die Gleiches mit Gleichem vereinigen will; aber die Körper, die sich zu vereinigen suchen, gleichen sich nicht darin, daß sie beide an der Natur des

[1]) Joannis Kepleri: De fundamentis Astrologiae, Pragae 1602; thesis XV. — J. Kepleri: Opera omnia, t. I, p. 422.

[2]) J. Kepleri: Notae in librum Plutarchi de facie in orbe Lunae, Francofurti, 1634. — J. Kepleri: Opera omnia, t. VIII, p. 118.

Wassers teilhaftig sind, sondern daß sie beide zur Natur der Massen, die unsere Erdkugel bilden, gehören. Ebenso wird die Anziehung des Mondes nicht nur auf die Gewässer, die die Erde bedecken, sondern auch auf die festen Teile und auf die Erde als Ganzes ausgeübt; und umgekehrt übt die Erde eine magnetische Anziehung auf die schweren Körper des Mondes aus. „Wenn der Mond und die Erde[1]) nicht durch eine wirkende oder durch irgend eine äquivalente Kraft in ihren Bahnen zurückgehalten würden, würde die Erde sich zum Monde erheben und der Mond zur Erde herabsinken, bis sich beide Gestirne vereinigen. Wenn die Erde aufhören würde, die Gewässer, die sie bedecken, anzuziehen, würden die Meereswogen sich ganz erheben und zum Monde fließen."

Diese Meinungen hatten für mehr als einen Physiker etwas Bestechendes; am 1. September 1631 schrieb[2]) Mersenne an Jean Rey: „Ich zweifle keineswegs, daß die Steine, die ein auf dem Mond befindlicher Mensch in die Höhe werfen würde, auf den Mond zurückfallen würden, obwohl er von unserer Seite aus der höchste Punkt ist; denn sie fallen auch zur Erde zurück, weil sie ihr viel näher sind, als den anderen Systemen." Aber Jean Rey nimmt diese Kepler entlehnte Anschauungsweise nicht günstig auf; Neujahr 1632 antwortet er[3]) Mersenne: „Sie zweifeln nicht, sagen Sie, daß die Steine, die ein auf dem Monde befindlicher Mensch in die Höhe schleudern würde, auf eben diesen Mond zurückfallen würden, obwohl er von unserer Seite aus der höchste Punkt ist. Ich bemerke, daß mich dies abschreckt; wenn ich zu Ihnen offen sprechen soll, so glaube ich gerade das Gegenteil; denn ich setze voraus, daß Sie von Steinen sprechen, die von hier genommen sind (vielleicht würde man auch keine auf dem Monde finden). Solche Steine haben nun keine andere Nei-

[1]) Joannis Kepleri: De motibus stellae Martis, 1609. — J. Kepleri: Opera omnia, t. III, p. 151.

[2]) Essays de Jean Rey, Docteur en médecine, sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine. Nouvelle édition (augmentée de la correspondance de Mersenne et de Jean Rey), Paris, 1777, p. 109.

[3]) Jean Rey: Loc. cit. p. 122.

gung, als die, sich zu ihrem Zentrum zu begeben, welches das der Erde ist; sie würden zu uns mit dem Menschen kommen, der sie wirft, wenn er ein Erdbewohner wäre, wodurch die Wahrheit des Spruches Nescio qua natale, solum dulcedine, cunctos allicit bekräftigt würde. Und wenn es geschehen würde, daß sie von dem Monde, wie von einem Magneten angezogen würden (woran Sie ebenso zweifeln sollten, wie an der Anziehung der Erde), so sind in diesem Falle die Erde und der Mond mit dem gleichen magnetischen Vermögen versehen, da sie ja den gleichen Körper anziehen. Stimmen sie aber darin miteinander überein, so müssen sie es auch darin, daß sie sich wechselseitig anziehen oder besser gesagt, daß sie sich bewegen und sich miteinander vereinigen, ebenso wie ich sehe, daß sich zwei Magnetkugeln, die ich in einer mit Wasser gefüllten Schale schwimmen lasse, einander nähern und sich vereinigen. Denn der Einwand, daß der Abstand zu groß sei, hält nicht stand: Die Einflüsse, die der Mond auf die Erde geltend macht und die, die die Erde auf den Mond ausübt, da sie ihm gemäß Ihrer Meinung nun einmal als Mond dient, machen uns klar, daß einer in der Wirkungsphäre des anderen ist."

Dies ist indessen der Einwand, den Descartes erhebt; auf die Frage Mersennes, ob er „wisse, ob ein Körper mehr oder weniger wiege, wenn er sich näher beim Erdzentrum befinde, oder wenn er entfernter von ihm sei", antwortet er mit folgendem Argument, das wohl geeignet ist, zu beweisen, daß die von der Erde entfernteren Körper weniger wiegen als die in ihrer Nähe befindlichen[1]): „Die Planeten, die in sich kein Licht besitzen, wie der Mond, die Venus, der Merkur etc., sind wahrscheinlich Körper aus der gleichen Materie wie die Erde ..., es scheint daher, daß diese Planeten schwer sein und gegen die Erde fallen müßten, wenn nicht deren große Entfernung ihnen diese Neigung rauben würde."

[1]) Descartes: Correspondance, Édition P. Tannery et Ch. Adam, No. CXXIX, 13 juillet 1638; t. II, p. 225.

Trotz der Schwierigkeiten, welche den Physikern in der ersten Hälfte des XVII. Jahrhunderts die Erklärung der Tatsache bereitete, daß die gegenseitige Schwere der Erde und des Mondes nicht bewirke, daß sie aufeinanderfallen, verbreitete und festigte sich der Glaube an eine derartige Schwere mehr und mehr. Descartes dachte, wie wir gesehen haben, daß eine derartige Schwere zwischen der Erde und den anderen Planeten, so gegenüber der Venus und dem Merkur, bestehen könne. Francis Bacon war weiter vorgedrungen; er dachte, daß die Sonne auf die verschiedenen Planeten eine Wirkung gleicher Art ausüben könne. Im Novum Organum[1]) setzt der berühmte Kanzler in eine spezielle Kategorie „die magnetische Bewegung, die in die Klasse der Bewegungen kleinerer Vereinigung (Congregatio minor) gehört, aber da sie oft mit großen Abständen und beträchtlichen Massen operiert, in diesem Sinne eine spezielle Forschung verdient, vor allem, da sie nicht mit einer Berührung beginnt, wie die meisten anderen Vereinigungsbewegungen und sich darauf beschränkt, die Körper zu heben oder aufzuschwellen, ohne etwas anderes zu erzeugen. Wenn es wahr ist, daß der Mond die Gewässer anzieht und daß unter seinem Einfluß die feuchten Massen aufgewühlt werden . . . ; wenn die Sonne die Gestirne Venus und Merkur bindet und ihnen nicht erlaubt, sich über eine gewisse Entfernung hinaus zu begeben, so scheint es wohl, daß diese Bewegungen nicht zur Art der größeren Vereinigung (Congregatio major), noch zur Art der kleineren Vereinigung (Congregatio minor) gehören, sondern daß sie zu einer mittleren und unvollkommenen Vereinigung führen und eine besondere Art bilden müssen."

Die Hypothese, daß die Sonne auf die Planeten eine ähnliche Wirkung ausüben könne, wie die, die die Erde und die Planeten auf ihre eigenen Teile ausüben und eine solche sogar, wie die Erde und die Planeten untereinander austauschen können, mußte als eine recht gewagte Annahme erscheinen. Sie schloß in der Tat in sich, daß eine natürliche Übereinstimmung zwischen der Sonne und den Planeten be-

[1]) F. Baconis Novum Organum; Londini 1620, l. II, c. XLVIII, art. 9.

stehe und mancher Physiker mußte sich diesem Postulat verschließen. Wir finden in den Schriften Gassendis den Beweis des Widerwillens, den mehr als ein Denker gegen dessen Zulässigkeit empfand. In folgendem betrachten wir die Umstände, unter denen sich dieser Widerwille bei Gassendi äußerte.

Die Kopernikaner, die die Schwere so gern einer gegenseitigen Zuneigung der irdischen Körper zugeschrieben, die eine entsprechende Zuneigung zwischen den verschiedenen Teilen desselben Gestirnes angenommen hatten, um die Kugelgestalt desselben zu erklären, weigerten sich im allgemeinen die magnetische Anziehung in der Wirkung des Mondes auf die Gewässer des Meeres wiederzuerkennen. Sie hielten an einer ganz anderen Theorie der Gezeiten fest, die aus den Grundlagen ihres Systemes entsprang und ihnen dadurch als besonders überzeugend bewiesen erschien.

Im Jahre 1544 erschienen in Basel die Werke von Caelio Calcagnini[1]; der Autor war drei Jahre früher gestorben, zur selben Zeit, als Joachim Rethicus in seiner Narratio prima das kopernikanische System bekannt machte, bevor der große polnische Astronom seine De revolutionibus orbium coelestium libri sex hatte drucken lassen. Die Werke von Calcagnini enthielten eine viel früher verfaßte[2] Abhandlung mit dem Titel: Quod Coelum stet, Terra vero moveatur, vel de perenni motu Terrae. Dieser Vorläufer von Kopernikus hat bereits die tägliche Bewegung der Gestirne der Umdrehung der Erde zugeschrieben, ohne jedoch zu der Anschauung von der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne vorgedrungen zu sein. In seiner Abhandlung kann man folgende Stelle lesen[3]: „Notwendigerweise bewegt sich ein

[1]) Caelii Calcagnini Ferrarensis: Opera aliquot, Basileae MDXLIV.

[2]) Diese Abhandlung, die an Bonaventure Pistophile gerichtet ist, ist nicht datiert; sie folgt in den Opera von Calcagnini einer anderen Abhandlung, die an dieselbe Persönlichkeit gerichtet und vom Januar 1525 datiert ist. Es ist wahrscheinlich, daß die erste Abhandlung aus einer früheren Zeit herstammt.

[3]) Calcagnini: Opera, p. 392.

Ding um so schneller, je weiter es sich vom Zentrum entfernt befindet. Darin findet man eine ungeheure Schwierigkeit gelöst, die den Gegenstand langer und zahlreicher Untersuchungen gebildet hat und die, wie man erzählt, Aristoteles zu solcher Verzweiflung brachte, daß sie seinen Tod verursachte. Es handelt sich um die Ursache, die in vollkommen bestimmten Zeitintervallen jene beachtenswerte Schwankung des Meeres hervorbringt . . . Die Schwierigkeit wird ohne Mühe gelöst, wenn man von den Rückstößen, die die Erde beleben, Rechenschaft gibt. Dieselben bewirken, daß bald ein Teil sich hebt, bald wieder zurücksinkt, was bald eine Senkung der Gewässer bewirkt, bald sie in die Höhe schleudert."

Galilei mußte diese Theorie, die Flut und Ebbe des Ozeans durch die Wirkungen, die die Rotation der Erde hervorbringt, zu erklären versucht, wieder aufgreifen, präzisieren und in den Einzelheiten darlegen.

Die Erklärung war unhaltbar, denn sie verlangte, daß das Intervall zweier Fluten gleich der Hälfte eines Sonnentages sei, während die Beobachtungen zeigen, daß sie gleich einem halben Mondtag ist; Galilei beharrte indessen darauf, diese Erklärung als einen der besten Beweise für die Bewegung der Erde auszugeben und diejenigen, die mit ihm an der Wirklichkeit dieser Bewegung festhielten, wiederholten gerne dieses Argument; so Gassendi in seiner Schrift: De motu impresso a motore translato, die er in Paris im Jahre 1641 herausgab.

Natürlich hielten die Anhänger des Kopernikus an der Erklärung der Gezeiten durch die Mondanziehung fest, da dieselbe nicht die Erdrotation voraussetzt.

Unter den heftigsten Gegnern des kopernikanischen Systems muß man Morin anführen, der mit gleichem Feuer die Astrologie wieder aufzufrischen und Horoskope zu stellen suchte. Auf die Schrift von Gassendi, in der er einen persönlichen Angriff zu sehen glaubt, antwortet Morin mit einem Pasquill, betitelt: Alae telluris fractae; in dieser Schrift

setzt er der Theorie von Galilei die magnetische Theorie der Gezeiten entgegen.

Der Unterschied zwischen Flut und Ebbe ist in der Zeit des Vollmonds oder des Neumonds sehr groß, dagegen viel geringer, wenn der Mond im ersten oder letzten Viertel steht. Dieses Alternieren der Springfluten und Nippfluten hatte bis dahin die Anhänger der magnetischen Philosophie stark in Verlegenheit gesetzt.

Morin gab davon eine Erklärung, die er wie er sagt, aus den Prinzipien der Astrologie ableitet. Dieses Alternieren erklärt sich durch das Zusammenwirken von Sonne und Mond; bei ihren Konjunktionen wie bei ihren Oppositionen haben ihre Kräfte die Richtung derselben Geraden, die durch die Erde geht und es ist „ein allgemein bekanntes Axiom, daß die vereinigten Kräfte stärker sind als die zerstreuten."

Morin berief sich, um die Rolle, die die Sonne bei den Änderungen der Gezeiten spielt, zu beweisen, auf die Prinzipien der weissagenden Astrologie; und es ist in der Tat unbestreitbar, daß den Astrologen die Ehre zukommt, die Newtonsche Theorie der Gezeiten in allen Teilen vorbereitet zu haben, während die Verteidiger der rationellen wissenschaftlichen Methoden, die Peripathetiker, Kopernikaner, Atomisten und Cartesianer, deren erstes Auftreten mit Elan bekämpft haben.

Die Prinzipien, auf die sich Morin berief, waren allerdings sehr alt; schon Ptolemäus vertrat in seinem Opus quadripartitum den Standpunkt, daß die Stellung der Sonne in bezug auf den Mond die Einflüsse dieses Gestirnes verstärken bezw. abschwächen könne; und diese Meinung wurde von Generation zu Generation überliefert, bis auf Gaspard Contarini, der lehrte, daß „die Sonne eine spezielle Wirkung ausübe, die die Gewässer des Meeres heben bezw. senken könne"[1]), bis auf Duret[2]), nach dem „es ganz augenscheinlich ist, daß die Sonne und der Mond kräftig an jener Be-

[1]) Gasparis Contarini: De elementis eorumque mixtionibus libri II; Lutetiae, MDXLVIII.

[2]) Claude Duret: Discours de la vérité . . .; Paris 1600, p. 236

wegung und Aufwühlung der Wogen des Meeres arbeiten", bis auf Gilbert[1]), der den Mond „die Hilfstruppe der Sonne" zu Hilfe rief und erklärte, daß die Sonne fähig sei „die vom Mond ausgeübten Kräfte im Momente des Neumondes und Vollmondes zu vergrößern".

Die Angehörigen der peripathetischen Schule, die an ihrem Rationalismus festhielten, bemühten sich, das Alternieren der Spring- und Nippfluten zu erklären, ohne eine verborgene Kraft der Sonne zu Hilfe zu nehmen. Albertus Magnus behauptete[2]) bloß die Änderung des Lichtes, das der Mond von der Sonne, gemäß der gegenseitigen Lage der beiden Gestirne, erhält, zu verwenden. Bei einem rationalistischen Erklärungsversuch derselben Art ahnte Thimon le Juif[3]) wenigstens eine große Wahrheit, indem er das Nebeneinanderbestehen zweier Arten von Gezeiten, solcher die vom Monde und solcher die von der Sonne herrühren, für möglich hielt; er schrieb die Flut im ersteren Fall einer Entstehung von Wasser zu, die durch die Kälte des Mondes verursacht wird, im letzteren einem durch die Wärme der Sonne verursachten Aufwallen.

Man muß aber anerkennen, daß erst bei den Ärzten und Astrologen des XVI. Jahrhunderts die Idee, die Gesamtflut in zwei Fluten gleicher Art, dabei aber ungleicher Intensität zu zerlegen, präzisiert wurde und befruchtend wirkte. Sie nahmen an, daß die eine Flut vom Monde, die andere von der Sonne hervorgebracht werde und die Verschiedenartigkeit der Wechsel von Flut und Ebbe durch die Übereinstimmung bezw. den Gegensatz dieser zwei Arten von Gezeiten zu erklären sei.

Dieser Gedanke wurde schon im Jahre 1528 von einem vornehmen Dalmatiner Federico Chrisogone aus Zara, den

[1]) Gulielmi Gilberti De mundo nostro philosophia nova, pp. 309 et 313.

[2]) Alberti Magni De causis proprietatum elementorum liber unus; tract. II, c. VI. — B. Alberti Magni: Opera omnia, Lugduni, 1651; t. V, p. 306.

[3]) Quaestiones super quatuor libros meteororum compilatae per doctissimum philosophum professorem Thimonem, Lutetiae, 1516 et 1518; l. II, quaest. II.

uns Annibal Raimondo als einen „großen Arzt, Philosophen und Astrologen" vorstellt, klar formuliert[1]).

In einem Werk, das die kritischen Tage der Krankheiten behandelt, stellt er folgendes Prinzip auf: „Die Sonne und der Mond ziehen die Anschwellung des Meeres in der Art zu sich, daß sich lotrecht unter jedem dieser Gestirne die maximale Anschwellung befindet; es gibt daher für jedes derselben zwei Anschwellungsmaxima, eines unter dem Gestirn und das andere an der entgegengesetzten Seite, was man den Nadir dieses Gestirnes nennt". Federico Chrisogone beschreibt sodann um die Erdkugel zwei Rotationsellipsoide; die große Achse des einen derselben ist gegen die Sonne, die große Achse des anderen gegen den Mond gerichtet; jedes dieser beiden Ellipsoide stellt die Gestalt dar, die das Meer annehmen würde, wenn es blos der Wirkung eines einzigen Gestirnes ausgesetzt wäre; indem man die beiden zusammensetzt, erklärt man die verschiedenen Eigentümlichkeiten der Flut.

Die Theorie Federico Chrisogones aus Zara gewinnt alsbald Verbreitung. Im Jahre 1557 setzt sie der berühmte Mathematiker, Arzt und Astrologe Hieronymus Kardano übersichtlich auseinander.[2]) Zur selben Zeit lehrt Federico Delfino in Padua eine Theorie der Gezeiten, die vom gleichen Prinzip ausgeht.[3]) Dreißig Jahre später bringt Paolo Gallucci[4]) die Theorie Federico Chrisogones wieder vor, während Annibale Raimondo[5]) die beiden Theorien von Chrisogone und

---

[1]) Federici Chrisogoni nobilis Jadertini De artificioso modo collegiandi, pronosticandi et curandi febres et de prognosticis aegritudinum per dies criticos necnon de humana felicitate, ac denique de fluxu et refluxu maris; Venetiis, impr. a Joan. A. De Sabio, 1528.

[2]) Hieronymi Cardani De rerum varietate libri XVII; Basileae, MDLVII, l. II, cap. XIII.

[3]) Federici Delphini De fluxu, et refluxu aque maris; Venetiis MDLIX; zweite Auflage, Basileae, MDLXXVII.

[4]) Pauli Gallucii Theatrum mundi et temporis, MDLXXXVIII, p. 70.

[5]) Annibale Raimondo: Trattato del flusso e reflusso del mare, in Venetia, 1589.

Delfino auseinandersetzt und kommentiert. Endlich veröffentlicht[1]) am Ende des XVI. Jahrhunderts Claude Duret ohne Scheu die Theorie Delfinos unter seinem eigenen Namen.

Die Hypothese einer Wirkung der Sonne auf die Gewässer des Meeres, einer Wirkung, die der vom Monde ausgeübten ganz gleich ist, war bereits erprobt, hatte bereits eine sehr befriedigende Theorie der Flut und Ebbe geliefert, als Morin sie in seinem Pasquill gegen Gassendi zum erstenmal in Betracht zog.

Gassendi wendete sich mit Heftigkeit gegen die magnetische Kraft, durch die der Mond die Gewässer der Erde anziehen soll; aber noch heftiger weist er die neue, von Morin formulierte Hypothese zurück[2]): „Gewöhnlich wird die Feuchtigkeit für die dem Monde eigentümliche Wirkung gehalten und die Sonne kann diese Wirkung nicht hervorbringen, sondern nur aufhalten. Es beliebt nun aber Morin, daß die Sonne die Wirkung des Mondes unterstütze; er erklärt, daß die Wirkungen von Sonne und Mond einander verstärken; er nimmt daher an, daß die Wirkungen der Sonne und die des Mondes von gleicher Beschaffenheit, oder wie man sagt, von der gleichen spezifischen Art seien; was das Phänomen betrifft, das uns beschäftigt, so bedeutet das, daß wenn durch die Wirkung des Mondes die Gewässer angezogen werden, dies in gleicher Weise auch durch die Wirkung der Sonne geschehen muß."

In jenem Jahre 1643, in dem Gassendi die Hypothese, daß der Mond und die Sonne analoge Anziehungen hervorbringen könnten für unbegründet erklärte, wurde diese Hypothese neuerlich formuliert, aber generalisiert und erweitert,

---

[1]) Discours de la vérité des causes et effects, des divers cours, mouvements, flux, reflux et saleure de la mer Océane, mer Méditerrannée et autres mers de la Terre, par M. Claude Duret, conseiller du Roy, et premier juge au siège présidial de Moulins en Bourbonnais. A Paris, chez Jacques Rezé, MDC.

[2]) Gassendi Epistolae tres de motu impresso a motore translato, Epistola III, art. XVI Parisiis, 1643. — Petri Gassendi Diniensis Opuscula philosophica, t. III, p. 534. Lugduni 1658.

bis zur Annahme einer allgemeinen Gravitation. Diese grandiose Annahme war Roberval zu verdanken, der, da er nicht wagte, sie offen unter seinem Namen zu publizieren, sich bloß als den Herausgeber und Kommentator einer Schrift[1]) ausgab, von der er behauptete, daß Aristarch von Samos sie verfaßt habe.

„Jedem Fluidum, das den Raum zwischen den Gestirnen und allen ihren Teilen erfüllt, ist", wie Roberval behauptete, „eine gewisse Eigenschaft oder ein gewisses Akzidenz eigen; durch die Kraft dieser Eigenschaft wird diese Materie an ein und demselben zusammenhängenden Körper festgehalten; alle Teile desselben befinden sich durch eine unaufhörliche Wirkung einander gegenüber und ziehen sich gegenseitig so sehr an, daß sie tatsächlich zusammenhängend sind und nur durch eine größere Kraft getrennt werden können. Das

[1]) Aristarchi Samii De Mundi systemate, partibus et motibus ejusdem liber singularis. Addictae sunt Ae. P. de Roberval notae in eundem libellum. Parisiis, 1644. Dieses Werk wurde von Mersenne im Jahre 1647 im Band III seiner Cogitata physico-mathematica wieder abgedruckt. — Ich glaube, daß, wenn man den Gedanken Robervals exakt interpretiert, man in seinem System nicht eine Theorie der allgemeinen Gravitation sehen muß; die Teile des interplanetarischen Fluidums werden nur Teile desselben Fluidums anziehen; die Teile der Erde werden nur Teile der Erde anziehen; die Teile des Systems der Venus nur Teile desselben Systems usw. Dennoch wird es eine gegenseitige Anziehung zwischen dem System der Erde und dem des Mondes sowie zwischen dem System des Jupiter und dem Satelliten dieses Gestirnes geben. Die Anwendung, die Roberval vom archimedischen Prinzip auf das Gleichgewicht eines einem Planeten angehörigen Systemes im Innern des interplanetarischen Fluidums macht, wäre somit vollkommen irrtümlich; aber ähnliche Irrtümer sind in den Arbeiten der Mathematiker des XVI. Jahrhunderts häufig und finden sich sogar in den ersten Schriften Galileis. Jedenfalls versteht Descartes* in der Kritik, in der er das Robervalsche System behandelt, dasselbe so, als ob es die allgemeine Schwere voraussetzen würde: „Denique aliam inesse praeterea similem proprietatem in omnibus et singulis terrae, aquae, aerisque partibus, vi cujus ad se invicem ferantur, et si reciproce attrahant; adeo ut hae (similique etiam modo aliae omnes quae aliquos planetas componunt, vel circumdant) singulae duas ejusmodi habeant vires, unam quae ipsas cum aliis partibus sui planetae, aliam quae easdem cum reliquis partibus Universi conjungat."

* Descartes: Correspondance, édition P. Tannery et Ch. Adam, t. IV, p. 399, lettre de Descartes à Mersenne datée du 20 avril 1646.

vorausgesetzt, wird diese Materie, wenn sie allein wäre, das heißt nicht mit der Sonne oder anderen Körpern verbunden, sich in eine vollkommene Kugel zusammenziehen; sie würde genau die Gestalt einer Kugel annehmen und könnte niemals im Gleichgewicht bleiben, wenn sie nicht diese Gestalt erlangt hätte. In dieser Gestalt würde das Wirkungszentrum mit dem Zentrum des Körpers zusammenfallen; gegen dieses Zentrum würden alle Teile der Materie streben, durch ihren eigenen Drang oder ihre Begierde und ebenso durch die gegenseitige Anziehung des Ganzen; das wird nicht, wie die Unwissenden meinen, durch die Kraft des Zentrums selbst, sondern durch die Kraft des ganzen Systemes, dessen Teile gleichmäßig um dieses Zentrum gelagert sind, geschehen ..."

„Dem ganzen System der Erde und der irdischen Elemente und jedem der Teile dieses Systemes wohnt ein gewisses Akzidenz oder eine gewisse Eigenschaft inne, die der Eigenschaft, die wir dem als Ganzes genommenen System des Mondes zugeschrieben haben, ähnlich ist; durch die Kraft dieser Eigenschaft vereinigen sich alle Teile dieses Systemes zu einer einzigen Masse, befinden sich einander gegenüber und ziehen sich gegenseitig an; sie sind tatsächlich zusammenhängend und können nur durch eine größere Kraft getrennt werden. Aber die verschiedenen Teile der irdischen Körper haben einen ungleichen Anteil an dieser Eigenschaft, an diesem Akzidenz; denn ein Teil hat um so mehr Anteil an diesem Akzidenz, an dieser Eigenschaft, je dichter er ist ... In den drei Körpern, die Erde, Wasser und Luft genannt werden, besteht diese Eigenschaft in dem, was wir gewöhnlich die Schwere bezw. Leichtigkeit nennen; denn für uns ist die Leichtigkeit nur eine geringere Schwere im Vergleich zu einer größeren Schwere."

Roberval wiederholt ähnliche Betrachtungen in bezug auf die Sonne und andere Himmelskörper, so daß genau hundert Jahre nach der Veröffentlichung der sechs Bücher des Kopernikus über die Bewegungen am Himmel, die Hypothese von der allgemeinen Gravitation formuliert worden war.

Diese Hypothese war indessen noch immer unvollständig, sie enthielt eine Lücke: Welchem Gesetze folgt die gegenseitige Anziehung zweier materieller Teilchen, wenn der Abstand dieser beiden Körper wächst? Auf diese Frage hatte Roberval keine Antwort gegeben. Aber man konnte nicht zögern, diese Antwort zu formulieren oder besser gesagt, wenn sie noch nicht formuliert worden war, so deshalb, weil sie für niemand zweifelhaft war.

Die Analogie zwischen den von den Sternen ausgeübten Wirkungen und dem von ihnen ausgesendeten Licht war für die Physiker und Astrologen des Mittelalters und der Renaissance tatsächlich ein Gemeinplatz; die Mehrzahl der scholastischen Peripathetiker trieben diese Analogie so weit, daß sie aus ihr ein unlösliches Band oder eine Identität machten. Scaliger war bereits genötigt, sich gegen diese Übertreibung zu wenden.[1]) „Die Sterne", sagt er, „können ohne Hilfe des Lichtes wirken; der Magnet wirkt auch ohne Licht; um wieviel großartiger werden die Sterne wirken!"

Ob sie nun mit dem Licht identisch sind oder nicht, müssen doch alle Kräfte, alle species der substantiellen Form, die ein Körper um sich im Raume äußert, sich nach denselben Gesetzen fortpflanzen oder wie man im Mittelalter sagte, sich multiplizieren. Schon im XIII. Jahrhundert hat es Roger Bacon[2]) unternommen, eine allgemeine Theorie dieser Fortpflanzung zu geben; in jedem homogenen Medium findet sie in geradlinigen Strahlen oder, um den modernen Ausdruck zu verwenden, in Kugelwellen statt; wenn er ein ebensoguter Mathematiker gewesen wäre, wie er forderte, daß die Physiker es seien, hätte Bacon leicht aus seinen Überlegungen[4]) folgenden Schluß gezogen: Die Kraft einer derartigen species

[1]) Julii-Caesaris Scaligeri De subtilitate adversus Cardanum, Exercitatio LXXXV.

[2]) Rogerii Bacconnis Angli: Specula mathematica in qua de specierum multiplicatione, earumdemque in inferioribus virtute agitur; Francofurti MDCXIV.

[3]) Roger Bacon: Loc. cit. dist. II, cc. I, II, III.

[4]) Roger Bacon: Loc. cit. dist. III, c. II.

steht immer im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat des Abstandes von der Quelle, der sie entstammt. Ein derartiges Gesetz war ein Satz, der ganz natürlich aus der Analogie zwischen der Fortpflanzung dieser Kräfte und der des Lichtes hervorgeht.

Kein Astronom hat vielleicht auf dieser Analogie mehr bestanden als Kepler. Die Drehung der Sonne ist für ihn die Ursache der Drehung der Planeten; die Sonne sendet diesen Gestirnen eine gewisse Qualität, eine gewisse Ähnlichkeit ihrer Bewegung, eine gewisse species motus, die dieselben ihrerseits antreiben muß. Diese species motus, diese virtus movens ist mit dem Sonnenlicht nicht identisch, hat aber[1]) mit ihm eine gewisse Verwandtschaft; sie bedient sich vielleicht des Sonnenlichtes, wie eines Instrumentes oder eines Beförderungsmittels.

Die Intensität des von einem Gestirne ausgesandten Lichtes ändert sich nun im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat des Abstandes von diesem Gestirn; es ist dies ein Lehrsatz, dessen Kenntnis in das Altertum zurückzureichen scheint, der sich in einer Schrift über Optik, die Euklid zugeschrieben wurde, findet und für den Kepler den Beweis geliefert hat.[2]) Die Analogie würde verlangen, daß die von der Sonne ausgesandte virtus movens im umgekehrten Verhältnis des Quadrates des Abstandes von diesem Gestirn sich ändere; aber die Dynamik, die Kepler anwendet, ist noch die alte Dynamik des Aristoteles. Die Kraft, die einen beweglichen Körper bewegt, ist proportional der Geschwindigkeit desselben; daher führt der Flächensatz, den Kepler entdeckt hat, ihn zu folgendem Lehrsatz: Die virtus movens, der ein Planet unterworfen ist, ändert sich im umgekehrten Verhältnis des einfachen Abstandes von der Sonne.

[1]) Joannis Kepleri De motibus stellae Martis commentarii c. XXXIV. — Joannis Kepleri Opera omnia, t. III, p. 302. — Epitome Astronomiae Copernicanae; l. IV, IIe part., art. 3. — Joannis Kepleri Opera omnia, t. VI, p. 347.

[2]) Joannis Kepleri Ad Vitellium paralipomena quibus Astronomiae pars optica traditur; Francofurti, 1604, c. I, prop. IX. — Joannis Kepleri Opera omnia, t. II, p. 133.

Diese Art der Änderung, die recht wenig der Analogie zwischen der von der Sonne hervorgebrachten species motus und dem von demselben Gestirne ausgesandten Lichte entspricht, muß jedenfalls Kepler stören; er bemüht sich[1]), die Analogie wieder herzustellen, speziell durch folgende Bemerkung: Das Licht breitet sich im Raum nach allen Richtungen aus, während sich die virtus motrix nur in der Ebene des Sonnenäquators fortpflanzt; die Intensität des ersteren steht im umgekehrten Verhältnis des Quadrates des Abstandes vom Ausgangspunkt, die Intensität der letzteren steht im umgekehrten Verhältnis zum einfachen Abstand, der durchlaufen wurde; diese beiden verschiedenen Gesetze drücken im einen wie im anderen Fall die gleiche Wahrheit aus: Die gesamte Quantität des Lichtes oder der species motus erleidet im Verlauf der Weiterverbreitung keine Einbuße.

Sogar die Erklärungen Keplers zeigen uns, mit welcher Kraft das Gesetz des umgekehrten Verhältnisses des Quadrates der Entfernungen in seinem Denken wirksam ist, so daß er es vor allem der Intensität einer Qualität zuschreiben will, wenn ein Körper diese Qualität nach allen Richtungen um sich herum hervorbringt. Dieses Gesetz mußte für seine Zeitgenossen ebenso evident erscheinen. Ismaël Boulliau hat es in erster Linie für das Licht aufgestellt[2]); er zögert nicht, es auf die virtus motrix, die nach Kepler die Sonne auf die Planeten ausübt, auszudehnen: „Diese Kraft", sagt er[3]), „durch die die Sonne die Planeten erfaßt oder festhält und die ihr an Stelle körperlicher Hände dient, wird in gerader Linie in den ganzen Raum, den die Welt einnimmt, ausgesendet; sie ist eine Art species der Sonne, die sich mit dem Körper dieses Gestirnes bewegt; da sie körperlich ist, nimmt sie ab und

[1]) Joannis Kepleri Commentarii de motibus stellae Martis, c. XXXVI. — Kepleri Opera omnia, t. III, pp. 302, 309. — Epitome Astronomiae Copernicanae, l. IV, IIe part., art. 3. — Kepleri Opera omnia, t. VI, p. 349.

[2]) Ismaelis Bullialdi De natura lucis; Parisiis 1638, prop. XXXVII, p. 41.

[3]) Ismaelis Bullialdi Astronomia Philolaïca; Parisiis 1645, p. 23.

wird geschwächt, wenn der Abstand zunimmt, und die Art dieser Abnahme ist, wie für das Licht, die des umgekehrten Verhältnisses des Quadrates der Entfernung."

Die virtus motrix, von der Boulliau spricht und die dieselbe ist, die bei Kepler auftritt, ist nicht in der Richtung des Strahles, der vom Planeten zur Sonne geht, gerichtet, sondern normal zu ihm; es ist dies keine Anziehung, die der gleich ist, die Roberval annimmt und die wir bei Newton begegnen werden; aber wir sehen klar, daß die Physiker des XVII. Jahrhunderts, wenn sie die Anziehung zweier Körper behandeln, vom Anbeginn an von der Annahme geleitet werden, daß diese Anziehung im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der gegenseitigen Entfernung der zwei Körper auftrete.

Die Arbeiten des Pater Athanasius Kircher über den Magneten liefern uns hierfür ein zweites Beispiel[1]); die Analogie zwischen dem von einer Quelle ausgesandten Licht und der Kraft, die jeder der beiden Pole eines Magneten hervorbringt, nötigt ihn, für die Intensität der einen wie der anderen Qualität ein Gesetz anzunehmen, nach dem die Abnahme im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung stattfindet; wenn er sich dieser Annahme weder für den Magnetismus, noch für das Licht anschließt, so deshalb, weil sie die Verbreitung der beiden Kräfte ins Unendliche ermöglicht, während er für jede Kraft eine Wirkungssphäre annimmt, außerhalb deren sie streng aufgehoben ist.

So war seit der ersten Hälfte des XVII. Jahrhunderts alles Material, das zum Bau der Hypothese der allgemeinen Anziehung dient, gesammelt, zugerichtet, zur Verwendung bereit; aber man ahnt noch keineswegs, welche Ausdehnung diese Verwendung haben wird; die magnetische Kraft,

[1]) Athanasii Kircheri Magnes, sive de arte magnetica; Romae 1641; l. I, prop. XVII, XIX, XX. In dem Lehrsatz XX spricht Kircher von der Abnahme im umgekehrten Verhältnis des Abstandes; dies ist hier ein einfaches Versehen, das daher rührt, daß Kircher bei den Überlegungen über Kugelflächen dieselben durch die Kreisbogen dargestellt hat. Der Gedanke des Autors hierüber ist nichtsdestoweniger ganz klar.

durch die die verschiedenen Teile der Materie sich gegeneinander bewegen, wird verwendet, um von dem Fall der schweren Körper und der Meeresflut Rechenschaft zu geben; man träumt noch nicht davon, daß es möglich sei, aus ihr die Darstellung der Bewegungen der Gestirne abzuleiten; ganz im Gegenteil, wenn die Physiker an das Problem der Mechanik des Himmels herantreten, stört sie besonders diese Anziehungskraft.

Dies rührte daher, daß die Wissenschaft, die sie mit ihren Prinzipien unterstützen muß, die Dynamik, noch in den Kinderschuhen steckt; da sie noch den Lehren, die Aristoteles im De Coelo gegeben hat, unterliegen, stellen sie sich die Wirkung, der zufolge sich ein Planet um die Sonne dreht, ähnlich vor, wie ein Pferd am Göpelwerk; da sie in jedem Augenblick, wie die Geschwindigkeit des bewegten Körpers gerichtet ist, wird sie proportional dieser Geschwindigkeit gesetzt; auf Grund dieses Prinzipes vergleicht[1]) Kardano den Einfluß des Lebensprinzipes, das den Saturn bewegt, mit dem Einfluß des Lebensprinzipes, das den Mond bewegt; diese Rechnung war wohl noch recht naiv, aber doch das erste Vorbild der Überlegungen, die zum Aufbau der Mechanik des Himmels führen.

Die Mathematiker des XVI. und der ersten Hälfte des XVII. Jahrhunderts, die noch ganz von den Prinzipien erfüllt sind, die Kardano bei seinen Rechnungen geleitet haben, wissen nicht, daß ein einmal geschleudertes Gestirn nicht in der Richtung seiner Bewegung gezogen werden muß, um einen Kreis mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu beschreiben; es ist im Gegenteil nötig, daß ein Zug gegen das Kreiszentrum es in seiner Bahn halte und hindere entlang der Tangente zu entfliehen.

Folgende zwei Vorurteile beherrschen daher die Mechanik des Himmels: Erstens wird an jedem Planeten eine Kraft angebracht, die senkrecht auf dem von der Sonne kommenden Radiusvektor steht, eine Kraft, die sozusagen an diesem Radius-

[1]) Hieronymi Cardani Opus novum de proportionibus; Basileae, 1570; prop. CLXIII, p. 165.

vektor angespannt ist, wie das Pferd im Göpelwerk am Hebelarm, den es drehen soll; zweitens wird die Anziehung der Sonne auf den Planeten, die scheinbar die beiden Gestirne gegeneinander schleudern würde, außer acht gelassen.

Kepler sieht die virtus motrix in einer Qualität, in einer species motus, die von der Sonne herrührt; die magnetische Anziehung, die von ihm so klar herangezogen wird, um die Schwere und die Gezeiten zu erklären, übergeht er bei der Behandlung der Bewegung der Gestirne mit Stillschweigen. Descartes ersetzt die species motus durch die hinreißende Gewalt, die der Ätherwirbel ausübt. „Aber Kepler[1]) hatte so gut diesen Gegenstand vorbereitet, daß die Anpassung, die Hr. Descartes zwischen der corpuscularen Philosophie und der Astronomie des Kopernikus vollbrachte, nicht sehr schwierig war."

Um den Schluß zu vermeiden, daß die Anziehung die Planeten auf die Sonne schleudere, taucht Roberval das ganze Weltsystem in ein ätherisches Medium, das denselben Anziehungen ausgesetzt ist und mehr oder weniger durch die Sonnenwärme ausgedehnt wird; jeder Planet behauptet, umgeben von seinen Elementen im Innern dieses Mediums, jene Gleichgewichtslage, die ihm das Prinzip von Archimedes zuweist; überdies bringt die Bewegung der Sonne im Innern dieses Äthers durch Reibung einen Wirbel hervor, der die Planeten genau so mit sich führt, wie die species motus, auf die Kepler sich berief.

Das System von Borelli[2]) unterwirft sich gleichzeitig dem Einfluß Robervals und dem Keplers. Borelli sucht wie Kepler die Ursache, auf Grund der sich jeder Planet in seiner Bahn bewegt, in einer Kraft, die von der Sonne herrührt, durch das Licht übertragen wird und deren Intensität im umgekehrten Verhältnis des Abstandes der beiden Gestirne steht. Mit

[1]) Leibniz: Brief an Molanus (?) (Leibniz, Werke herausgegeben von Gerhardt, Band IV, p. 301).

[2]) Alphonsi Borelli Theoriae Mediceorum planetarum ex causis physicis deductae, Florentiae 1665. — Vergl. Ernst Goldbeck: Die Gravitationshypothese bei Galilei und Borelli, Berlin, 1897.

Roberval nimmt er an[1]), daß es „in jedem Planeten einen natürlichen Instinkt gebe, durch den er sich der Sonne in gerader Linie zu nähern suche. Gleicherweise sehen wir jeden schweren Körper sich auf Grund eines natürlichen Instinktes unserer Erde nähern, indem er durch die Schwere gestoßen wird, die ihn mit der Erde in Verbindung bringt; ebenso bemerken wir, daß das Eisen sich in gerader Linie gegen den Magneten bewegt."

Jene Kraft, die den Planeten zur Sonne bringt, vergleicht Borelli mit der Schwere; es scheint nicht, daß er sie mit ihr identifiziert; dadurch ist sein System minderwertiger als das Robervals; es ist außerdem darin minderwertig, daß es voraussetzt, daß die vom Planeten ausgeübte Anziehung unabhängig vom Abstand dieses Gestirnes von der Sonne sei; aber es übertrifft es in einem Punkte; um jene Kraft auszugleichen, um den Planeten an dem Fall gegen die Sonne zu hindern, nimmt es nicht mehr Drucke eines Fluidums, in dessen Innern der Planet, gemäß dem Archimedischen Prinzip schwimmt, zu Hilfe; es beruft sich auf das Beispiel der Schleuder, deren im Kreise bewegter Stein das Band stark spannt; es hält dem Trieb, durch den der Planet sich zur Sonne bewegt, das Gleichgewicht[2]), indem es ihm die Tendenz eines jeden Körpers, der sich vom Zentrum der Umdrehung zu entfernen sucht, die vis repellens entgegenstellt, die er im umgekehrten Verhältnis des Radius der Bahn annimmt.

Die Vorstellung Borellis unterscheidet sich wesentlich von den Meinungen, bei denen seine unmittelbaren Vorgänger stehen geblieben waren. War seine Schöpfung indessen unvermittelt? War Borelli beim Studium älterer Schriften auf keine Anregung gestoßen, die diesen Gedanken veranlassen hätte können? Aristoteles[3]) berichtet uns, daß Empedokles die Ruhe der Erde durch die riesig schnelle Drehung des Himmels erklärte; „so geschieht es, daß das Wasser, das man in einem offenen Gefäße zur Drehung bringt, selbst

[1]) Borelli: Loc. cit. p. 76.
[2]) Borelli: Loc. cit. p. 47.
[3]) Aristoteles: Περὶ οὐρανοῦ, B, αγ.

wenn sich der Boden des Gefäßes oberhalb des Wassers befindet, nicht herausfließt; die Drehung hindert es daran". Und Plutarch drückt sich in einer Schrift[1]), die von den alten Astronomen fleißig gelesen und später von Kepler übersetzt und kommentiert wurde, folgendermaßen aus: „Der Mond wird vor dem Falle auf die Erde durch seine Bewegung selbst und durch die Heftigkeit seiner Drehung bewahrt; ebenso wird der Fall von Dingen, die sich in einer Schleuder befinden, durch die Drehung im Kreise verhindert; die der Natur entsprechende Bewegung (die Schwere) nimmt alle Dinge mit sich, mit Ausnahme jener, bei denen eine andere Bewegung sie aufhebt; daher bewegt die Schwere nicht den Mond, weil die Kreisbewegung bewirkt, daß sie ihren Einfluß verliert". Plutarch konnte nicht klarer die Hypothese aussprechen, die Borelli annehmen mußte.

Diese Bezugnahme auf die Zentrifugalkraft ist nichts desto weniger ein genialer Zug; Borelli kann unglücklicherweise aus dem Gedanken, der sich ihm darbot, keinen Vorteil ziehen; er kennt die genauen Gesetze dieser Zentrifugalkraft selbst in dem Fall nicht, wo der bewegliche Körper einen Kreis mit gleichförmiger Geschwindigkeit beschreibt; daher ist es ihm erst recht unmöglich, sie in dem Falle zu berechnen, wo der bewegliche Körper eine den Keplerschen Gesetzen entsprechende Ellipse beschreibt; ebensowenig vermag er durch einen deduktiven Schluß diese Gesetze aus den von ihm formulierten Hypothesen abzuleiten.

Der Physiker Hooke, der im Jahre 1674 Sekretär der Royal Society in London ist, nimmt seinerseits das Problem, das die Bemühungen Keplers, Robervals, Borellis veranlaßt hatte, in Angriff[2]). Er weiß, daß „jeder einmal in Bewegung gesetzte Körper fortfährt sich in gerader Linie mit gleichförmiger Geschwindigkeit zu bewegen, bis andere Kräfte seinen Weg krumm machen und in einen Kreis, eine Ellipse oder irgend eine andere kompliziertere Kurve biegen". Er weiß

[1]) Plutarch: Περὶ τοῦ ἐμφαινομένου προσώπου τῷ κύκλῳ τῆς σελήνης, Z.

[2]) Hooke: On attempt to prove to annual motion of the Earth; London, 1674.

auch, welche Kräfte die Bahnen der verschiedenen Himmelskörper bestimmen: „Alle Himmelskörper ohne Ausnahme üben eine Anziehung oder Schwere, die gegen ihr Zentrum gerichtet ist, aus, infolgedessen sie nicht nur ihre eigenen Teilchen festhalten und sie daran hindern sich in den Raum zu entfernen, wie wir sehen, daß es bei der Erde geschieht, sondern sie ziehen auch alle anderen Himmelskörper an, die sich in ihrem Wirkungsbereich befinden. Daraus folgt zum Beispiel, daß nicht nur die Sonne und der Mond den Weg und die Geschwindigkeit der Erde beeinflussen, ebenso wie die Erde auf sie wirkt, sondern daß auch Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn infolge ihrer Anziehungskraft einen beträchtlichen Einfluß auf die Bewegung der Erde ausüben, ebenso wie die Erde einen starken Einfluß auf die Bewegung dieser Körper ausübt". Hooke weiß endlich, daß „die Anziehungskräfte mit umso größerer Stärke ausgeübt werden, je näher die Körper, auf die sie wirken, dem Zentrum, dem sie entstammen, sind". Er gesteht, daß „er noch nicht geprüft habe, wie dieses Anwachsen für die verschiedenen Entfernungen stattfinde". Aber er nahm bereits in diesem Moment an, daß die Intensität der Anziehungskraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung wachse, obwohl er dieses Gesetz erst im Jahre 1678 veröffentlichte. Seine Behauptung in dieser Richtung ist umso weniger unwahrscheinlich, als in derselben Zeit ein anderes Mitglied der Royal Society, Wren nach dem Zeugnis Newtons und Halleys bereits im Besitz dieses Gesetzes war. Hooke und Wren hatten ohne Zweifel, einer wie der andere, dasselbe aus dem Vergleich zwischen der Schwere und dem Licht abgeleitet, ein Vergleich, auf Grund dessen es auch Halley im selben Augenblicke vermutete.

Hooke ist daher bereits 1672 im Besitze aller Postulate, die zum Aufbau des Systemes der allgemeinen Gravitation dienen; aber er kann diese Postulate nicht weiter verwenden; die Schwierigkeit, die Borelli gehemmt hatte, hemmt auch ihn; er kann nicht die gekrümmte Bewegung, die eine variable Kraft hervorbringt, nach Größe und Richtung behandeln; er

ist gezwungen, seine Hypothesen, die noch unfruchtbar sind, mit dem Wunsche zu publizieren, daß ein geschickterer Mathematiker sie verwenden möge: „Es handelt sich um einen Gedanken, der, wenn er so verfolgt wird, wie er es verdient, nicht ermangeln kann, den Astronomen sehr nützlich zu werden, um alle Himmelsbewegungen auf eine gewisse Regel zurückzuführen; diese wird, wie ich glaube, niemals in anderer Weise aufgestellt werden können. Diejenigen, die die Theorie der Pendelschwingungen und der Kreisbewegung kennen, werden leicht begreifen, auf welcher Grundlage das allgemeine Prinzip, das ich ausspreche, beruht und sie werden in der Natur das Mittel finden können, um dessen wahren physikalischen Charakter klarzustellen".

Das unentbehrliche Hilfsmittel zur Ausführung einer derartigen Arbeit ist die Kenntnis der allgemeinen Gesetze, welche die Abhängigkeit einer krummlinigen Bewegung von den Kräften, welche sie hervorbringt, darstellen; im Augenblick nun, wo der Essay von Hooke erschien, gelang die Formulierung dieser Gesetze und es ist in der Tat das Studium der Pendelschwingungen, aus dem ihre Entdeckung hervorging. Im Jahre 1673 veröffentlicht Huygens[1]) seine Abhandlung über die Pendeluhr; die Theoreme, die den Abschluß dieser Abhandlung bilden, geben das Mittel, wenigstens für Kreisbahnen, jene Probleme zu lösen, die Borelli und Hooke nicht behandeln konnten.

Die Untersuchungen über die mechanische Erklärung der Bewegung der Himmelskörper erhalten durch die Publikation von Huygens einen neuen und fruchtbaren Anstoß. Im Jahre 1689 greift Leibniz[2]) wieder zu einer Theorie, die der von Borelli analog ist; jedes Gestirn ist einer gegen die Sonne gerichteten Anziehungskraft und einer im entgegengesetzten Sinne gerichteten Zentrifugalkraft, deren Größe aus den Theoremen von Huygens abgeleitet werden muß, unterworfen und

[1]) Christiani Hugenii De horologio oscillatorio; Parisiis, 1673.

[2]) Leibnitii Tentamen de motuum coelestium causis (Acta Eruditorum Lipsiae, anno 1689).

endlich auch noch einem Antrieb des Ätherfluidums, das es umspült, einem Antrieb, den Leibniz normal zum Radiusvektor und im umgekehrten Verhältnis der Länge dieses Radius annimmt; dieser Antrieb spielt genau die Rolle der virtus motrix, auf die sich Kepler und Borelli beriefen; er besteht in nichts anderem, als in der Übersetzung derselben in das Wirbelsystem von Descartes und Roberval. Mit Hilfe der von Huygens formulierten Regeln berechnet Leibniz die Kraft, derzufolge der Planet gegen die Sonne gravitieren muß, wenn seine Bewegung den Keplerschen Gesetzen folgt; er findet sie umgekehrt proportional zum Quadrat des Radiusvektor.

Schon 1684 wendet Halley selbst die Theoreme von Huygens auf die Hypothesen von Hooke an; indem er die Bahnen der verschiedenen Planeten kreisförmig annimmt, konstatiert er, daß die durch Kepler entdeckte Proportionalität zwischen den Quadraten der Umlaufszeiten und den Kuben der Durchmesser voraussetzt, daß die verschiedenen Planeten Kräften unterworfen seien, die direkt proportional zu ihren Massen und indirekt proportional zu den Quadraten ihrer Abstände von der Sonne sind. Aber im gleichen Augenblick, in dem Halley seine Versuche unternimmt, die er erst publiziert, als Leibniz seine Theorie publiziert hatte, teilt Newton der Royal Society in London die ersten Resultate seiner Überlegungen über die Mechanik des Himmels mit; im Jahre 1686 legt er ihr seine Philosophiae naturalis principia mathematica vor, in der die Theorie, von der Hooke, Wren und Halley nur Bruchstücke erfaßt hatten, in ihrem ganzen Umfange entwickelt wird.

Diese Theorie, die durch jahrhundertlange Bemühungen der Physiker vorbereitet worden war, entstand in Newton keineswegs plötzlich. Bereits im Jahre 1665 oder 1666, sieben oder acht Jahre, bevor Huygens das De horologio oscillatorio herausgibt, hat Newton auf Grund seiner eigenen Bemühungen die Gesetze der gleichförmigen Kreisbewegung entdeckt; ebenso wie Halley es im Jahre 1684 tat, hat er diese Gesetze mit dem dritten Keplerschen Gesetze verglichen und bei

diesem Vergleich erkannt, daß die Sonne gleiche Massen verschiedener Planeten mit einer Kraft anziehe, die umgekehrt proportional dem Quadrat der Abstände sei. Aber er wollte eine genauere Kontrolle; er wollte sich überzeugen, ob, wenn man die Schwere, die wir auf der Erdoberfläche konstatieren, in einem derartigen Verhältnis vermindere, man genau die Kraft erhalte, die der vis centrifuga, die den Mond mit sich zu führen strebt, das Gleichgewicht hält. Die Dimensionen der Erde waren nun damals nicht genau bekannt; sie lieferten Newton für den Wert der Schwere am Orte des Mondes einen Wert, der um ein $^1/_6$ den erwarteten überstieg. Als strenger Anhänger der experimentellen Methode, veröffentlichte Newton nicht eine Theorie, der die Beobachtung widersprach; bis zum Jahre 1682 steuerte er keine neuen Resultate seiner Überlegungen, zu denen, die er schon erhalten hatte, bei. In diesem Zeitpunkt lernte Newton die neuen geodätischen Messungen, die durch Picard ausgeführt wurden, kennen; er konnte seine Rechnung wieder in Angriff nehmen, deren Resultat diesmal vollständig befriedigend war; die Zweifel des großen Mathematikers verschwanden und er konnte sein bewunderungswürdiges System bekannt machen. Er brauchte zwanzig Jahre unaufhörlicher Überlegung, um das Werk zu vollenden, zu dem so viele Mathematiker und Physiker seit Leonardo da Vinci und Kopernikus ihren Beitrag geleistet hatten.

Die verschiedensten Betrachtungen, die unzusammenhängendsten Lehren sind der Reihe nach aufgetaucht, um den Aufbau der Mechanik des Himmels zu unterstützen: Die gewöhnliche Erfahrung, die uns die Schwere kennen lehrt, ebenso wie die wissenschaftlichen Messungen Tycho de Brahes und Picards, ebenso wie die von Kepler formulierten Gesetze der Beobachtung; die Wirbel der Kartesianer und Atomisten ebenso wie die rationelle Dynamik von Huygens; die metaphysischen Lehren der Peripathetiker ebenso wie die Systeme der Mediziner und die Träumereien der Astrologen; die Vergleiche der Schwere mit den magnetischen Wirkungen, ebenso wie die Verwandtschaft zwischen dem Licht und den gegen-

seitigen Wirkungen der Gestirne. Im Verlaufe dieser langen und arbeitsreichen Kindheit können wir langsame und gradweise Umbildungen, durch die sich das theoretische System entwickelt hat, beobachten, in keinem Augenblick aber können wir eine plötzliche und willkürliche Schöpfung neuer Hypothesen bemerken.

§ 3. — Der Physiker wählt nicht die Hypothesen, auf die er eine Theorie stützt, sie entstehen in ihm ohne sein Zutun.

Die Entwicklung auf Grund deren das System der allgemeinen Gravitation entstanden ist, hat sich im Laufe der Jahrhunderte langsam vollzogen; wir haben auch die Fortschritte, durch die sich der Gedanke nach und nach bis zu jener Vollkommenheit, die Newton ihm gegeben, erhoben hat, Schritt für Schritt verfolgen können. Manchmal wird die Entwicklung, die zum Bau eines theoretischen Systemes führt, außerordentlich zusammengedrängt und es genügen einige Jahre, um die Hypothesen, die diese Theorie tragen sollen, vom Zustand in dem sie kaum entworfen bis zu jenem, in dem sie vollendet sind, zu bringen.

So entdeckt Oerstedt im Jahre 1819 die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel; im Jahre 1820 bringt Arago diesen Versuch der Académie des Sciences zur Kenntnis; am 18. September 1820 liest Ampère in der Académie eine Abhandlung vor, in der er die gegenseitigen Wirkungen der Ströme, die er festgestellt hatte, darstellt; und am 23. Dezember 1823 läuft eine andere Abhandlung ein, in der Ampère den Theorien der Elektrodynamik und des Magnetismus ihre entgiltige Form gibt. Hundertdreiundvierzig Jahre trennten die De revolutionibus orbium coelestium libri sex von den Philosophiae naturalis principia mathematica; weniger als vier Jahre trennen die Veröffentlichungen des Oerstedtschen Versuches von der denkwürdigen Abhandlung Ampères. Aber wenn der Rahmen dieses Werkes uns erlaubte, die Geschichte der elektrodynamischen Theo-

rien[1]) während dieser vier Jahre im Detail zu erzählen, würden wir alle charakteristischen Merkmale, denen wir bei der jahrhundertelangen Entwicklung der Mechanik des Himmels begegnet sind, wiederfinden. Wir würden keineswegs sehen, daß das Genie Ampères mit einem einzigen Blick ein weites, bereits festgestelltes, experimentelles Gebiet umfassen und durch eine freie, schöpferische Entscheidung das System von Hypothesen, das diese Beobachtungstatsachen darstellen soll, wählen konnte. Wir würden das Zaudern, das Tasten, den gradweisen Fortschritt, der durch eine Folge von einzelnen Verbesserungen erzielt wird, bemerken können ebenso, wie wir dies in den drei halben Jahrhunderten, die Kopernikus von Newton trennen, festgestellt haben. Die Geschichte der Elektrodynamik gleicht sehr der Geschichte der allgemeinen Anziehung; die vielfachen Bemühungen, die wiederholten Versuche, die das Gewebe dieser zwei Entwicklungen bilden, folgen sich blos im ersteren Falle in viel kleineren Intervallen als im letzteren und zwar dank der ungeheuren Fruchtbarkeit Ampères, von dem während vier Jahren die Académie des Sciences beinahe jeden Monat eine Abhandlung zu hören bekam, dank auch der Plejade gelehrter Mathematiker, geschickter Physiker, genialer Männer, die sich mit ihm um den Bau der neuen Lehre bemühten; denn die Geschichte der Elektrodynamik muß zum Namen Ampères nicht nur den Oerstedts, sondern auch die Aragos, Humphry-Davys, Biots, Savarts, Babinets, Savarys, de la Rives, Becquerels, Faradays, Fresnels und Laplaces gesellen.

Manchmal bleibt uns die Geschichte der einzelnen Phasen der Entwicklung, die ein System physikalischer Hypothesen durchgemacht hat, unbekannt und wird uns immer unbekannt bleiben; sie wurden in eine kleine Zahl von Jahren zusammengedrängt und in einem einzigen Kopfe konzentriert; der Entdecker hat uns nicht, wie Ampère, seine Ideen, nachdem sie

[1]) Der Leser, der diese Geschichte zu studieren wünscht, findet alle nötigen Dokumente in den Bänden II und III der Collection de Mémoires relatifs à la Physique publiés par la Société française de Physique (Mémoires sur l'Électrodynamique, 1885 et 1887).

in ihm aufgetaucht, zur Kenntnis gebracht; er wartete, indem er sich die große Geduld Newtons zum Muster nahm, bis seine Theorien vollendete Form erlangt hatten und brachte sie alsdann ans Tageslicht. Wir können indessen wohl sicher sein, daß sie sich nicht in dieser Form seinem Geist gleich anfangs darboten, daß diese Form das Resultat unzähliger Verbesserungen und Abänderungen ist und daß bei jeder dieser Abänderungen die freie Wahl des Entdeckers in mehr oder minder bewußter Weise durch eine Unzahl äußerer und innerer Umstände geleitet und bedingt war.

Wie schnell und zusammengedrängt übrigens auch die Entwicklung einer physikalischen Theorie vor sich gegangen sei, immer kann man doch konstatieren, daß eine lange Vorbereitung deren Auftreten vorangegangen ist; die Zwischenglieder zwischen der ersten Andeutung und der vollkommenen Form können uns so sehr entgehen, daß wir eine freie, plötzliche Schöpfung zu betrachten meinen; eine Vorarbeit hat aber den Boden, in den der erste Keim gefallen ist, zur Aufnahme geeignet gemacht; sie hat diese beschleunigte Entwicklung ermöglicht und diese Arbeit läßt sich durch Jahrhunderte verfolgen.

Der Oerstedtsche Versuch hat genügt, eine intensive und beinahe fieberhafte Arbeit hervorzurufen, die in vier Jahren die Elektrodynamik zur Reife brachte; aber gerade in dem Augenblick, in dem dieser Keim in die Wissenschaft des XIX. Jahrhunderts eingepflanzt wurde, war sie wunderbar vorbereitet, ihn aufzunehmen, zu ernähren und zu entwickeln. Newton hatte bereits bemerkt, daß die elektrischen und magnetischen Anziehungen analogen Gesetzen, wie die der allgemeinen Gravitation folgen müssen; diese Annahme wurde durch Cavendish und durch Coulomb für die elektrischen Anziehungen, durch Tobias Mayer und durch Coulomb für die magnetischen Wirkungen in die experimentelle Wirklichkeit umgesetzt; die Physiker hatten sich so daran gewöhnt, alle Kräfte, die in die Entfernung wirken, in elementare Wirkungen zu zerlegen, die indirekt proportional den Quadraten der Abstände der Elemente, zwischen denen sie wirken, sind. An-

dererseits hatte die Analyse der verschiedenen Probleme, welche aus der Astronomie hervorgehen, die Mathematiker mit den Schwierigkeiten, welchen man bei der Zusammensetzung derartiger Kräfte begegnet, vertraut gemacht. Die gigantische mathematische Leistung des XVIII. Jahrhunderts war in der Mécanique céleste von Laplace zusammengefaßt worden; die Methoden, die zur Behandlung der Bewegungen der Himmelskörper geschaffen worden waren, suchten in allen Teilen der gewöhnlichen Mechanik nach Gelegenheit ihre Fruchtbarkeit zu beweisen und die mathematische Physik schritt mit erstaunlicher Schnelligkeit vorwärts. Im besonderen entwickelte Poisson mit Hilfe der von Laplace erdachten analytischen Methoden die mathematische Theorie der statischen Elektrizität und des Magnetismus, während Fourier beim Studium der Wärmefortpflanzung wunderbare Gelegenheiten zur Verwendung der gleichen Verfahren fand. Die elektrodynamischen und elektromagnetischen Erscheinungen konnten sich den Physikern und Mathematikern offenbaren, sie waren gerüstet, um sich ihrer zu bemächtigen und sie in einer Theorie zusammenzufassen.

Die Betrachtung einer Gruppe experimenteller Gesetze kann daher nicht dem Physiker zum Bewußtsein bringen, welche Hypothesen er wählen muß, um von diesen Gesetzen eine theoretische Darstellung zu geben; es ist außerdem nötig, daß die Gedanken zu jenen gewohnten, in seinem Gesichtskreis befindlichen, gehören, daß die seinem eigenen Geist durch seine früheren Studien eingeprägten Tendenzen ihn leiten und den allzu großen Spielraum, den die Gesetze der Logik seinen Schritten lassen, beschränken. Wie viele Teile der Physik haben bis heute ihre rein empirische Form behalten und erwarten, daß Bedingungen entstehen, die einem genialen Physiker ermöglichen, jene Hypothesen zu erkennen, die zum Aufbau einer Theorie nötig sind.

Dafür entsteht die Theorie beinahe in gewaltsamer Weise, wenn die Fortschritte der gesamten Wissenschaft die Köpfe genügend für ihre Aufnahme vorbereitet haben; und recht oft stellen Physiker, die einander nicht kennen, die in großer

Entfernung von einander ihren Überlegungen nachgehen, beinahe zu gleicher Zeit die gleiche Theorie auf; man möchte sagen, daß die Idee in der Luft liegt, daß sie von einem Land in das andere durch den Wind geweht wird und so bereit ist, jeden Genius zu befruchten, der fähig ist, sie aufzunehmen und zu entwickeln, gleich dem Pollen, der überall dort eine Frucht erzeugt, wo er einer reifen Narbe begegnet.

Derjenige, der die Geschichte der Wissenschaften schreibt, hat im Verlaufe seiner Studien Gelegenheit, dieses gleichzeitige Auftauchen der gleichen Lehre in voneinander entfernten Ländern zu beobachten; aber wie häufig auch immer dieses Phänomen sein möge, nie kann er es ohne Verwunderung betrachten[1]). Wir hatten bereits Gelegenheit, zu sehen, wie das System der allgemeinen Gravitation zur selben Zeit in den Köpfen von Hooke, Wren und Halley entstand, in der es im Gehirn Newtons feste Form annahm. Ebenso können wir in der Mitte des XIX. Jahrhunderts beobachten, daß das Prinzip der Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit in einander sehr naheliegenden Zeitpunkten durch Robert Mayer in Deutschland, durch Joule in England und durch Colding in Dänemark formuliert wurde; keiner von ihnen wußte indessen von den Überlegungen der anderen, die zu gleicher Zeit dem gleichen Ziele zustrebten und keiner von ihnen ahnte, daß der gleiche Gedanke schon einige Jahre früher in Frankreich im Genie Sadi Carnots vorzeitig zur Reife gelangt war.

Wir könnten die Beispiele von solch überraschendem Auftreten von Entdeckungen häufen; beschränken wir uns darauf, noch eines, welches uns besonders frappierend erscheint, zu erwähnen.

Das Phänomen der totalen Reflexion des Lichtes an der Trennungsfläche zweier Medien läßt sich nicht leicht im theoretischen Gebäude der Wellenlehre begreifen. Fresnel hatte im Jahre 1823 Formeln zur Darstellung dieses Phänomens angegeben, aber er hatte sie durch eine der befremdendsten und

[1]) Vergl. F. Mentré: La simultanéité des découvertes scientifiques (Revue scientifique, 5e série, t. II, p. 555; 1904).

unlogischesten Eingebungen[1]), die die Geschichte der Physik verzeichnet, erhalten. Die sinnreichen, experimentellen Bestätigungen, die er von diesen Formeln gab, ließen keinen Zweifel an ihrer Richtigkeit bestehen, aber sie machten eine logisch zulässige Hypothese, die die Verbindung mit der allgemeinen optischen Theorie herstellen würde, nur um so wünschenswerter. Während dreizehn Jahren konnten die Physiker keine derartige Hypothese entdecken; endlich lieferte die höchst einfache, aber auch höchst unerwartete und originelle Betrachtung der verschwindenden Welle (l'onde évanescente) eine solche. Es war nun eine merkwürdige Sache, daß der Gedanke, der verschwindenden Welle beinahe gleichzeitig in den Köpfen von vier verschiedenen Mathematikern auftrat, die zu weit voneinander entfernt waren, um sich die Gedanken, mit denen sie sich beschäftigen, mitzuteilen. Cauchy[2]) formulierte als erster die Hypothese der verschwindenden Welle in einem im Jahre 1836 an Ampère gerichteten Brief; im Jahre 1837 teilte Green[3]) sie in der Philosophical Society zu Cambridge mit und gleichzeitig publizierte sie F. E. Neumann[4]) in Deutschland in Poggendorffs Annalen; von 1841 bis 1845 machte endlich Mac Cullagh[5]) sie zum Gegenstande dreier Mitteilungen, die er der Akademie zu Dublin vorlegte.

Dieses Beispiel scheint uns wohl geeignet, folgenden Schluß, mit dem wir diese Betrachtung schließen wollen, in klarem Lichte erscheinen zu lassen. Die Logik läßt dem Physiker, der die Wahl einer Hypothese vornehmen will, beinahe absolute Freiheit; aber dieses Fehlen jeder Leitung und jeder Regel kann ihn nicht stören, denn tatsächlich wählt der Phy-

---

[1]) Augustin Fresnel: Oeuvres complètes, t. I, p. 782.

[2]) Cauchy: Comptes rendus, t. II, 1836, p. 364. — Poggendorffs Annalen, Bd. IXL, 1836, p. 39.

[3]) George Green: Transactions of the Cambridge Mathematical Society, vol. VI, 1838, p. 403. — Mathematical Papers, p. 231.

[4]) F. E. Neumann: Poggendorffs Annalen, Bd. XL, 1837, p. 510.

[5]) Mac Cullagh: Proceedings of the Royal Irish Academy, voll. II et III. — Collected Works, pp. 187, 218, 250.

siker nicht die Hypothese, auf die er eine Theorie gründet; er wählt sie ebensowenig, wie die Blume das Pollenkorn wählt, das sie befruchten soll; die Blume beschränkt sich darauf, ihre Krone so weit als möglich dem Winde oder dem Insekt, das den Samenstaub der Frucht bringt, zu öffnen; in gleicher Weise beschränkt sich der Physiker darauf, seinen Geist durch Aufmerksamkeit und Überlegung dem Gedanken zu öffnen, der in ihm ohne sein Zutun entstehen muß. Newton antwortete jemandem auf die Frage, wie er es anstelle, eine Entdeckung zu machen, folgendes[1]): „Ich halte das Objekt meiner Untersuchung stets vor mir und erwarte, daß die ersten Lichtschimmer, die sich langsam und nach und nach zu zeigen beginnen, sich in vollkommene und ganze Klarheit verwandeln."

Erst dann kann die freie und mühsame Tätigkeit des Physikers ins Spiel treten, wenn er beginnt, die erhaltene, von ihm aber nicht gesuchte, neue Hypothese klar zu sehen; denn es handelt sich nun darum diese Hypothese mit jenen in Verbindung zu bringen, die bereits als zulässig erklärt wurden, aus ihr zahlreiche und mannigfache Konsequenzen abzuleiten, sie peinlich genau mit den experimentellen Gesetzen zu vergleichen; diese Arbeiten soll er schnell und richtig ausführen; die Erfassung eines neuen Gedankens hängt nicht von ihm ab, wohl aber hängt es zum großen Teil von ihm ab, ob dieser Gedanke sich entwickelt und fruchtbar wird.

§ 4. — Über die Darlegung der Hypothesen im physikalischen Unterricht.

Die Logik gibt dem Lehrer, der die Hypothesen, auf welche die physikalischen Theorien gegründet sind, darlegen will, nicht mehr Anhaltspunkte als dem Forscher. Sie lehrt ihn bloß, daß die Gesamtheit physikalischer Hypothesen ein System von Prinzipien bilde, dessen Konsequenzen die Gesamtheit der durch die Experimentatoren festgestellten Gesetze

[1]) Diese Antwort ist in dem Artikel: „Newton", den Biot für die Biographie universelle von Michaud geschrieben hat, zitiert.

darstellen sollen. Daher würde eine wirklich logische Darlegung der Physik vor allem mit einer Aufzählung aller Hypothesen, von denen die verschiedenen Theorien Gebrauch machen, beginnen, sodann mit der Ableitung einer Fülle von Folgerungen aus diesen Hypothesen fortfahren und schließlich mit der Konfrontation dieser Menge von Folgerungen mit der Menge der experimentellen Gesetze, die sie darstellen sollen, schließen.

Es ist klar, daß eine solche Art der Darlegung der Physik, die allein logisch wäre, absolut undurchführbar ist; es ist daher gewiß, daß der Unterricht in der Physik nie in einer Form gegeben werden kann, die unter dem Gesichtspunkte der Logik einwandfrei wäre; eine jede Darlegung der physikalischen Theorien wird wesentlich ein Kompromiß zwischen den Forderungen der Logik und den intellektuellen Bedürfnissen des Studierenden sein.

Der Lehrer wird, wie wir bereits gesagt haben, sich damit zufrieden geben müssen, am Beginn eine mehr oder weniger ausgedehnte Gruppe von Hypothesen zu formulieren, aus ihnen eine gewisse Zahl von Folgerungen abzuleiten, die er allsogleich mit den Tatsachen konfrontieren wird. Diese Konfrontation wird augenscheinlich nicht vollständig überzeugend sein; sie wird gewisse Sätze voraussetzen, die sich aus noch nicht formulierten Folgerungen ergeben. Der Schüler wird zweifellos an den fehlerhaften Zirkelschlüssen, die er bemerkt, Anstoß nehmen, wenn er nicht, wie es sich gehört, vorher aufgeklärt wurde, wenn er nicht weiß, daß die derart unternommene Prüfung der Formeln eine vorzeitige ist, ein Eingriff in das Entwicklungsstadium, das gemäß einer strengen Logik bevor irgend eine Anwendung der Theorie gemacht wird, eintreten müßte.

Beispielsweise wird ein Lehrer, der die Gesamtheit von Hypothesen, auf denen die allgemeine Mechanik und die Mechanik des Himmels beruhen, dargelegt und aus ihnen eine gewisse Zahl von Fragen dieser beiden Wissensgebiete entwickelt hat, nicht warten, bis er die Thermodynamik, die

Optik, die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus abgeleitet hat, um seine Theoreme mit verschiedenen experimentellen Gesetzen zu vergleichen. Bei diesem Vergleich wird er indessen gezwungen sein, sich eines astronomischen Fernrohres zu bedienen, die Ausdehnungen in Rechnung zu ziehen, die Fehlerquellen, die von der Elektrisierung und Magnetisierung herrühren, zu eliminieren, also sich auf Theorien, die er noch nicht dargelegt hat, zu berufen. Ein Schüler, der nicht zum voraus aufgeklärt wurde, wird sich über Fehlschlüsse beklagen; seine Verwunderung wird hingegen aufhören, wenn er versteht, daß diese Verifikationen ihm im voraus gegeben werden, um ihm so schnell als möglich die theoretischen Lehrsätze durch Beispiele zu erläutern, was gemäß der Logik allerdings erst viel später, erst nachdem er im Besitz des vollständigen Systemes der theoretischen Physik ist, kommen sollte.

Diese praktische Unmöglichkeit, das System der Physik in der Form, wie es die logische Strenge verlangen würde, darzulegen, diese Notwendigkeit eine Art Gleichgewicht zwischen dem, was diese Strenge fordert und dem, was die Intelligenz des Schülers aufnehmen kann, herzustellen, macht den Unterricht in dieser Wissenschaft so außerordentlich heikel. Es ist in der Tat dem Lehrer sehr wohl erlaubt, einen Vortrag zu halten, an dem der spitzfindige Logiker etwas auszusetzen findet; diese Toleranz ist aber gewissen Bedingungen unterworfen; der Schüler muß wissen, daß der gehörte Vortrag weder von Lücken noch von ungeprüften Behauptungen frei ist; er muß klar sehen, wo sich diese Lücken befinden und um welche Behauptungen es sich handelt; es ist mit einem Worte nötig, daß der stark lückenhafte und unvollständige Unterricht, mit dem er sich zufrieden geben muß, in seinem Kopf nicht falsche Vorstellungen erweckt.

Der Kampf gegen falsche Vorstellungen, die sich so schnell in einen derartigen Unterricht einschleichen, muß daher die ständige Sorge des Lehrers sein.

Keine isolierte Hypothese, keine von der gesamten Phy-

sik getrennte Gruppe von Hypothesen kann einer absolut selbständigen Prüfung unterzogen werden; kein experimentum crucis kann zwischen zwei isoliert genommenen Hypothesen entscheiden; der Lehrer wird indessen nicht warten können, bis alle Hypothesen aufgestellt sind, um erst dann bestimmte von ihnen der Kontrolle der Beobachtung zu unterwerfen; er wird nicht darauf verzichten können, gewisse Experimente, zum Beispiel das Foucault'sche oder das Otto Wiener'sche anzuführen, um die Zulässigkeit einer gewissen Voraussetzung gegenüber der entgegengesetzten darzutun; er wird aber genau angeben müssen, bis zu welchem Punkte die von ihm beschriebene Kontrolle sich auf noch nicht dargelegte Theorien stützt, inwiefern das Experiment, das sozusagen als experimentum crucis dient, die Annahme von Lehrsätzen voraussetzt, die man als nicht anfechtbar betrachten will.

Kein System von Hypothesen kann aus der Erfahrung allein durch Induktion abgeleitet werden; die Induktion kann indessen gewissermaßen den Weg, der zu gewissen Hypothesen führt, angeben; es wird ihr nicht untersagt sein, ihn zu bezeichnen; es wird ihr zum Beispiel nicht untersagt sein, an den Anfang der Darlegung der Mechanik des Himmels die Keplerschen Gesetze zu stellen und zu zeigen, wie diese Gesetze in der Sprache der Mechanik zu Ausdrücken führen, die nach der Hypothese der allgemeinen Anziehung geradezu zu rufen scheinen. Sind aber einmal diese Ausdrücke erhalten, so muß genau darauf geachtet werden, inwieweit sie sich von der Hypothese, durch die man sie ersetzt, unterscheiden.

Im besonderen muß man in allen Fällen, in denen man von der experimentellen Induktion die Anregung zu einer Hypothese verlangt, sich wohl davor hüten, ein unrealisiertes Experiment als ein ausführbares auszugeben; und vor allem muß man, was sich von selbst versteht, die Berufung auf das absurde Experiment streng vermeiden.

§ 5. — Die Hypothesen können nicht aus Axiomen des gewöhnlichen Wissens abgeleitet werden.

Einige der Betrachtungen, mit denen man häufig die Einführung einer physikalischen Hypothese begleitet, verdienen unsere spezielle Aufmerksamkeit. Derartige Betrachtungen, die bei einer großen Zahl von Physikern sehr beliebt sind, können, wenn man sich nicht in acht nimmt, besonders schädlich und besonders reich an falschen Gedanken sein. Sie bestehen darin, daß die Einführung gewisser Hypothesen mit Hilfe von Lehrsätzen gerechtfertigt wird, die sozusagen evident sind, die aus dem gewöhnlichen Leben abgeleitet werden.

Es kann vorkommen, daß man in den Lehren des gewöhnlichen Lebens Analogien oder Beispiele zu einer Hypothese findet; es kann sogar sein, daß sie ein durch die Analyse deutlicher und genauer gemachter Lehrsatz des gewöhnlichen Lebens ist; in diesen Fällen wird der Lehrer sicher die Ähnlichkeiten zwischen den Hypothesen, auf denen die Theorie ruht und den Gesetzen, die uns die tägliche Erfahrung offenbart, erwähnen können; die Wahl dieser Hypothesen wird dadurch dem Verstande um so natürlicher und befriedigender erscheinen.

Derartige Ähnlichkeiten erfordern aber die sorgsamste Prüfung; ein Irrtum über die wirkliche Ähnlichkeit zwischen einer Angabe des gewöhnlichen Lebens und einer Aussage der theoretischen Physik findet außerordentlich leicht statt; sehr häufig ist die Analogie eine ganz oberflächliche; sie besteht nur zwischen den Worten, nicht aber zwischen den Gedanken; sie kann verschwinden, wenn man die symbolische Aussage, die die Theorie formuliert, übersetzt; wenn man jeden Ausdruck, der in dieser Aussage verwendet wurde, derart umbildet, daß man nach dem Rate Pascals die Definition durch das Definierte ersetzt; dann kann man sehen, in welcher Beziehung die Ähnlichkeit zwischen den beiden Angaben, die man unklugerweise in Zusammenhang gebracht hat, eine künstliche, allein den Wortlaut betreffende ist.

In jenen ungesunden, gemeinverständlichen Darstellungen, in denen sich der Geist unserer Zeitgenossen um eine verfälschte Wissenschaft, die seine Begeisterung erregt, bemüht, bekommt man jeden Augenblick Überlegungen zu lesen, deren sozusagen intuitive Voraussetzung die Betrachtung der Energie ist. Diese Voraussetzungen sind meistens wirklich nichts anderes als Wortspiele; man spielt mit dem doppelten Sinn des Wortes Energie; man verwendet Urteile, die im alltäglichen Sinn des Wortes Energie richtig sind, in jenem Sinn, in dem man sagt, daß die Durchquerung Afrikas die Gefährten Marchands großen Aufwand an Energie gekostet habe; diese Urteile überträgt man sodann im ganzen auf die Energie im Sinne der Thermodynamik, auf jene Funktion des Zustandes eines Systemes, deren vollständiges Differential bei jeder elementaren Änderung dem Überschuß der äußeren Arbeit über die frei gewordene Wärme gleich ist.

Vor kurzem noch haben diejenigen, die an derartigen Betrügereien Gefallen finden, es bedauert, daß das Prinzip der Zunahme der Entropie viel verwickelter und schwerer verständlich sei, als das Prinzip der Erhaltung der Energie; diese beiden Prinzipien verlangen indessen vom Mathematiker ganz ähnliche Rechnungsoperationen; bloß hat der Ausdruck Entropie nur in der Sprache des Physikers Sinn; er ist im gewöhnlichen Sprachgebrauch unbekannt; er gibt keine Gelegenheit zu Zweideutigkeiten. Seit kurzem hört man diese Klagen über die Unklarheit, in der das zweite Prinzip der Thermodynamik versunken bleibt, nicht mehr; es gilt heute als klar und gemeinverständlich. Warum? Weil man seinen Namen geändert hat. Man bezeichnet es jetzt als Prinzip der Zerstreuung oder der Entwertung der Energie; nun verstehen auch diejenigen diese Worte, die keine Physiker sind, aber doch als solche gelten möchten; sie verleihen ihnen allerdings einen Sinn, der gar nicht dem entspricht, was die Physiker unter dieser Bezeichnung verstehen; aber was kümmert sie das? Die Türe für gar manche spezielle Erörterungen, die sich als Überlegungen ausgeben, aber nur Wortspiele sind, ist nun offen. Und gerade das war es, was sie wünschten.

Die Anwendung von Pascals wertvoller Regel zerstreut diese täuschenden Analogien, wie ein Windstoß die Erscheinungen der Fata Morgana.

Alle, die aus den Grundlagen des gewöhnlichen Verstandes Hypothesen, auf die sich die Theorien stützen sollen, ableiten wollen, können noch einer anderen Illusion zum Opfer fallen.

Die Grundlagen des gewöhnlichen Verstandes bestehen nicht in einem in der Erde vergrabenen Schatz, dem keine neue Münze mehr hinzugefügt werden kann, sondern in dem Kapital einer ungeheuer großen und außerordentlich tätigen Gesellschaft, das durch die Vereinigung der Intelligenz der ganzen Menschheit gebildet wird. Dieses Kapital verwandelt sich und wächst von Jahrhundert zu Jahrhundert. Zu diesen Verwandlungen und zu diesem Wachstum des Reichtums trägt die theoretische Wissenschaft einen sehr großen Teil bei. Unaufhörlich verbreitet sie sich durch den Unterricht, durch die Konversation, durch die Bücher und Zeitungen; sie dringt bis zum Grund der allgemeinen Bildung; sie weckt deren Aufmerksamkeit für früher vernachlässigte Erscheinungen, sie lehrt sie früher unklar gebliebene Begriffe analysieren; sie bereichert so das Erbteil der Wahrheiten, die allen Menschen gemein sind oder wenigstens denen, die einen gewissen Grad geistiger Kultur erreicht haben. Kommt dann ein Lehrer mit dem Wunsche, eine physikalische Theorie darzulegen, so findet er unter den Wahrheiten des gewöhnlichen Lebens wunderbar geeignete Sätze zur Rechtfertigung seiner Hypothesen; er wird nun glauben, daß er diese aus den grundlegenden und zwingenden Bedingungen unseres Verstandes entnommen, daß er sie aus wirklichen Axiomen abgeleitet habe; tatsächlich wird er aber nur Stücke aus dem Schatze der allgemeinen Erkenntnis wieder entnommen und in theoretische Wissenschaft verwandelt haben, die die theoretische Wissenschaft selbst diesem Schatze beigefügt hatte.

Krasse Beispiele für diesen schweren Irrtum, diesen Zirkelschluß finden wir bei vielen Autoren in den Darlegungen

der Prinzipien der Mechanik; folgende Auseinandersetzung entnehmen wir Euler; das, was wir aber über die Überlegungen dieses großen Mathematikers sagen werden, könnten wir bezüglich einer Menge neuerer Schriften wiederholen.

„Im ersten Kapitel", sagt Euler[1]), „stelle ich die allgemeinen Naturgesetze, welche ein freier und durch keine Kräfte angetriebener Körper befolgt, dar. Wenn nämlich ein derartiger Körper sich einmal in Ruhe befindet, muß er beständig in derselben verharren; ist er aber einmal in Bewegung, so muß er beständig mit derselben Geschwindigkeit geradlinig fortgehen. Beide Gesetze kann man sehr bequem unter der Benennung der Erhaltung des Zustandes begreifen. Es folgt hieraus, daß die Erhaltung des Zustandes eine wesentliche Eigenschaft aller Körper ist und daß diese die Kraft oder das Vermögen besitzen, beständig in ihrem Zustande zu verharren. Dies ist nichts anderes, als die Kraft der Trägheit .... Da also jeder Körper vermöge seiner Natur in demselben Zustande der Ruhe oder Bewegung beharret, muß man es äußeren Kräften zuschreiben, wenn der Körper dieses Gesetz nicht befolgt; sondern entweder mit ungleichförmiger Bewegung oder längs einer krummen Linie fortschreitet .... Hieraus ergeben sich die wahren Prinzipien der Mechanik, aus denen man alles abzuleiten hat, was die Änderung der Bewegung betrifft. Da dieses noch zu leicht bestätigt werden würde, habe ich den Beweis so geführt, daß man es nicht nur als gewiß, sondern als notwendig wahr erkennen wird".

Wenn wir in der Lektüre des Eulerschen Werkes fortfahren, finden wir am Anfang des zweiten Kapitels die folgenden Stellen:

„Definition: Eine Kraft (potentia) ist die Gewalt (vis), welche einen Körper von der Ruhe zur Bewegung bringt oder seine bereits stattfindende Bewegung verändert. Eine derartige Kraft ist die Schwere, vermöge welcher

[1]) Leonhardi Euleri Mechanica sive motus scientia, analytice exposita, Petropoli, 1736; t. I, Praefatio. [Deutsche Ausgabe von Wolfers, Greifswald 1848, pp. 5—6, 33.]

die Körper, nach Entfernung der Hindernisse, zu sinken anfangen und welche die herabsteigende Bewegung beständig beschleunigt."

„Zusatz: Jeder sich selbst überlassene Körper verharret entweder in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig und geradlinig fort. So oft daher ein ruhender, freier Körper sich zu bewegen anfängt, oder seine Bewegung weder gleichförmig noch geradlinig fortsetzt, muß man die Ursache hiervon irgend einer Kraft zuschreiben. Denn dasjenige, was den Zustand eines Körpers zu stören vermag, nennen wir eine Kraft."

Euler bringt folgenden Satz als Definition: „Eine Kraft ist die Gewalt, welche einen Körper von der Ruhe zur Bewegung bringt oder seine bereits stattfindende Bewegung verändert." Was soll man darunter verstehen? Will Euler dem Wort Kraft seinen ganzen früheren Sinn nehmen und eine einfache Wortdefinition, deren Willkürlichkeit durch nichts begrenzt ist, geben? In diesem Falle wird die Deduktion, die er uns entwickelt, von tadelloser Logik sein; sie wird aber in einer einfachen Anordnung von Schlüssen bestehen, die keinerlei Verbindung mit der Wirklichkeit besitzt. Darin besteht keineswegs die Arbeit, die Euler ausführen wollte; es ist klar, daß Euler, als er den Satz, den wir oben angeführt haben, aussprach, das Wort Kraft oder Gewalt im Sinne der gewöhnlichen und nicht der wissenschaftlichen Sprache gebraucht hat; das Beispiel der Schwere, das er unmittelbar nachher anführt, verbürgt uns das sicher; gerade weil er dem Worte Kraft nicht einen neuen, willkürlich definierten Sinn, sondern denjenigen beilegt, den alle Menschen mit ihm verknüpfen, konnte Euler bei seinen Vorgängern, namentlich bei Varignon, die Theoreme der Statik, die er anwendet, entlehnen.

Diese Definition ist keine Wortdefinition, sondern eine Sachdefinition; indem Euler das Wort Kraft in dem Sinne nimmt, wie es ein jeder versteht, sucht er das wesentliche Charakteristikum der Kraft zu bestimmen, jenes Charakteristikum, aus dem alle anderen Eigenschaften gefolgert werden können. Der Satz, den wir angeführt haben, ist viel weniger eine Definition, als ein Lehrsatz, dem Euler Augenscheinlich-

keit zuschreibt, er ist ein Axiom. Dieses Axiom und andere ähnliche ermöglichen ihm allein den Beweis, daß die Gesetze der Mechanik nicht nur richtig, sondern notwendig seien.

Ist es nun augenscheinlich, leuchtet es dem gewöhnlichen Verstande ohne weiteres ein, daß ein Körper, auf den keinerlei Kräfte wirken, sich immer in gerader Linie mit konstanter Geschwindigkeit bewegt? Ist es klar, daß die Fallgeschwindigkeit eines Körpers, der konstant der Schwerkraft unterworfen ist, fortwährend steigt? Ganz im Gegenteil; derartige Ansichten sind von den gewöhnlichen Meinungen ungeheuer weit entfernt; um sie zutage zu fördern, waren die fortgesetzten Bemühungen aller großen Geister, die sich während zweier Jahrtausende mit der Dynamik beschäftigt haben, nötig[1]).

Die tägliche Erfahrung lehrt uns, daß ein unbespannter Wagen unbeweglich bleibt, daß ein Pferd, wenn es kontinuierlich seine Kräfte anspannt, das Gefährt mit konstanter Geschwindigkeit zieht; wenn der Wagen schneller laufen soll, muß das Pferd seine Kräfte mehr anspannen, oder man muß ihm einen Gefährten geben. Wie würden wir das, was uns derartige Beobachtungen über die Kraft oder die Gewalt lehren, übersetzen? Wir würden folgende Ausdrücke formulieren:

Ein Körper, der keiner Kraft unterworfen ist, bleibt unbeweglich.

Ein Körper, der einer konstanten Kraft unterworfen ist, bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit.

Wenn man die Kraft, die einen Körper bewegt, vergrößert, vergrößert man die Geschwindigkeit dieses Körpers.

So sind die charakteristischen Eigenschaften beschaffen, die der gewöhnliche Verstand der Gewalt oder Kraft zuschreibt; so sind die Hypothesen beschaffen, die man zu

[1]) Vergl. E. Wohlwill: Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes (Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft, Bd. XIV u. Bd. XV. 1883—1884.) — P. Duhem: De l'accélération próduite par une force constante (Congrès d'Histoire des sciences; Genève, 1904).

Grundlagen der Dynamik machen müßte, wenn man diese Wissenschaft auf das gründen wollte, was dem gewöhnlichen Verstande als selbstverständlich erscheint.

Diese charakteristischen Eigenschaften sind nun jene, die Aristoteles[1]) der Kraft (*δύναμις*) oder Gewalt (*ἰσχύς*) zuschreibt; diese Dynamik ist die Dynamik des Stagiriten; wenn man in einer derartigen Dynamik konstatiert, daß der Fall der schweren Körper eine beschleunigte Bewegung sei, so schließt man daraus nicht, daß die schweren Körper einer konstanten Kraft unterworfen sind, sondern daß ihr Gewicht in dem Maße zunimmt, wie sie sinken.

Die Prinzipien der peripathetischen Dynamik schienen übrigens so sicher zu sein, ihre Wurzeln drangen so tief in den widerstandsfähigen Boden der gewöhnlichen Meinungen, daß, um sie bis zum Grunde auszurotten, um an ihre Stelle jene Hypothesen, die Euler als selbstverständlich annimmt, zu setzen, es einer der längsten und ausdauerndsten Bemühungen bedurfte, die uns die Geschichte des menschlichen Geistes kennen lehrt; es war nötig, daß Alexander aus Aphrodisias, Themistius, Simplicius, Albert de Saxe, Nicolas von Cusa, Leonardo da Vinci, Kardano, Tartalea, Julius Caesar Scaliger, Jean Baptiste Benedetti den Weg bahnten, auf dem Galilei, Descartes, Beeckman und Gassendi vorwärtsschreiten konnten.

So sind die Lehrsätze, die Euler als Axiome, die uns selbstverständlich sind, betrachtet und auf die er eine nicht nur richtige, sondern auch notwendige Dynamik gründen will, in Wirklichkeit Lehrsätze, welche uns die Dynamik allein gelehrt hat und die sie sehr langsam mit großen Schwierigkeiten an Stelle der falschen Selbstverständlichkeiten des gewöhnlichen Lebens gesetzt hat.

Der Zirkelschluß, in dem sich die Deduktion Eulers bewegt, kann auch von denen nicht vermieden werden, die die Hypothesen, auf denen eine physikalische Theorie ruht, mit Hilfe allgemein anerkannter Axiome glauben rechtfertigen zu können; die angeblichen Axiome, auf die sie sich berufen,

[1]) Aristoteles: Φυσικῆς ἀκροάσεως H, ε. — Περὶ Οὐρανοῦ T, β.

wurden eben den Gesetzen entnommen, die sie aus ihnen ableiten wollten[1]).

Es ist daher vollständig illusorisch, die Lehren des gewöhnlichen Lebens zu Grundlagen der Hypothesen machen zu wollen, auf die die theoretische Physik gegründet werden soll. Auf einem derartigen Wege gelangt man nicht zur Dynamik von Descartes und Newton, sondern zu der von Aristoteles.

Das heißt nun nicht, daß die Lehren des gewöhnlichen Lebens nicht vollständig richtig und vollständig sicher seien; es ist vollständig richtig und vollständig sicher, daß ein unbespannter Wagen sich nicht bewegt, daß er, wenn er mit zwei Pferden bespannt ist, schneller vorwärts kommt, als wenn nur eines zieht. Wir haben an mehreren Stellen wiederholt: Die Sicherheiten und Wahrheiten des gewöhnlichen Lebens sind in letzter Instanz die Quelle, aus der jede wissenschaftliche Wahrheit und Gewißheit entspringt. Aber wir haben auch gesagt, daß die Beobachtungen des gewöhnlichen Lebens umso zuverlässiger sind, je weniger sie sich in Einzelheiten verlieren, je weniger sie sich auf Genauigkeit verlegen; die Gesetze des gewöhnlichen Lebens sind nur unter der ausdrücklichen Bedingung vollständig richtig, daß die allgemeinen Bezeichnungen, zwischen denen sie ein Band herstellen, zu jenen spontanen und naturgemäßen Abstraktionen des Konkreten gehören, zu jenen unanalysierten Abstraktionen, die als Ganzes genommen werden, wie der allgemeine Begriff eines Wagens oder der allgemeine Begriff eines Pferdes.

Es ist ein schweres Mißverständnis, Gesetze, die so komplexe, so inhaltsreiche, so wenig analysierte Begriffe verbinden, unmittelbar mit Hilfe jener symbolischen Formen der mathematischen Sprache, die aus einer bis zum äußersten ge-

[1]) Der Leser kann sich von dem hier gesagten auch überzeugen, wenn er die Kritik, die Hr. E. Mach den Ausführungen Daniel Bernoullis über das Gesetz des Kräfteparallelogramms angedeihen läßt, nachließt. (Ernst Mach: Die Mechanik, in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt, 5. Auflage 1904, p. 45.)

triebenen Vereinfachung und Analyse hervorgingen, übersetzen zu wollen; es ist eine merkwürdige Illusion, den Begriff der konstanten bewegenden Kraft als äquivalent mit dem Begriff des Pferdes, den Begriff des absolut frei beweglichen Körpers durch den Begriff des Wagens versinnbildlichen zu wollen. Die Gesetze des gewöhnlichen Lebens sind Urteile über allgemeine, außerordentlich komplexe Begriffe, die wir auf Grund unserer täglichen Beobachtungen begreifen; die Hypothesen der Physik sind Beziehungen zwischen mathematischen Symbolen, die im höchsten Grade vereinfacht wurden; es ist unsinnig, den außerordentlichen Unterschied, der die beiden Arten von Lehrsätzen trennt, nicht sehen zu wollen; es ist unsinnig zu denken, daß die letzteren sich an die ersteren anschließen, wie ein Korollar an ein Theorem.

Gerade in umgekehrter Reihe muß der Übergang von den Hypothesen der Physik zu den Gesetzen des gewöhnlichen Lebens stattfinden; aus der Gesamtheit der einfachen Hypothesen, die als Grundlagen der physikalischen Theorien dienen, lassen sich mehr oder minder fernliegende Folgerungen ziehen und diese liefern eine schematische Darstellung der Gesetze, die uns die gewöhnliche Erfahrung darbietet; je vollkommener die Theorien sind, um so verwickelter wird diese Darstellung sein; indessen werden die gewöhnlichen Beobachtungen sie immer unendlich an Vielseitigkeit übertreffen; weit entfernt, daß man die Dynamik aus jenen Gesetzen ableiten könnte, die der Verstand bei Betrachtung der Bewegung eines von einem Pferde gezogenen Wagens erkannt hat, genügen im Gegenteil kaum alle Hilfsmittel der Dynamik, um uns auch nur ein ganz vereinfachtes Bild der Bewegung dieses Wagens zu geben.

Der Beweggrund, der die Absicht hervorruft, die Darstellung der Hypothesen, auf denen die physikalischen Theorien ruhen, aus den Kenntnissen des gewöhnlichen Lebens abzuleiten, besteht in dem Wunsch, die Physik ähnlich der Geometrie aufzubauen; in der Tat sind die Axiome, aus denen die Geometrie mit so vollständiger Strenge abgeleitet wird,

die Fragen, die Euklid am Anfang seiner Elemente formuliert, Lehrsätze, deren Selbstverständlichkeit das gewöhnliche Leben bestätigt. Wir haben aber bereits wiederholt gesehen, wie gefährlich es wäre, eine Annäherung zwischen der mathematischen Methode und derjenigen, die die physikalischen Theorien befolgen, herzustellen, wie versteckt unter einer vollständig äußerlichen Ähnlichkeit, die in dem Gebrauch, den die Physik von der mathematischen Sprache macht, begründet ist, diese beiden Methoden sich als vollkommen verschieden erweisen; auf den Unterschied dieser beiden Methoden müssen wir nochmals zurückkommen.

Die Mehrzahl abstrakter und allgemeiner Begriffe, die in uns bei Gelegenheit unserer Wahrnehmungen spontan entstehen, sind zusammengesetzte, unanalysierte Vorstellungen; es gibt indessen unter ihnen auch solche, die sich ohne besondere Anstrengung klar und einfach erweisen; es sind dies die verschiedenen Begriffe, die sich um jene der Zahl und Figur gruppieren; die gewöhnliche Erfahrung lehrt uns diese Begriffe durch Gesetze zu verbinden, die einerseits die unmittelbare Sicherheit der Urteile des gewöhnlichen Lebens und andererseits eine außerordentliche Klarheit und Genauigkeit besitzen. Es war daher möglich, eine gewisse Zahl solcher Urteile zu Prämissen von Deduktionen zu machen, in denen die unbestreitbare Richtigkeit der allgemeinen Erkenntnis untrennbar mit der vollkommenen Klarheit von Schlußreihen vereint war. In dieser Weise wurde die Arithmetik und Geometrie aufgebaut.

Aber die mathematischen Wissenschaften bilden eine vollständige Ausnahme; sie allein haben das Glück, Vorstellungen zu behandeln, die sich aus unseren täglichen Wahrnehmungen durch eine spontane Arbeit der Abstraktion und Generalisation ergeben und sich dabei ohne weiteres als klar, rein und einfach erweisen.

Dieses Glück ist der Physik versagt. Die durch die Wahrnehmungen gelieferten Begriffe, die sie zu behandeln hat, sind unendlich kompliziert und zusammengesetzt, deren Studium erfordert eine lange peinliche Arbeit an Analyse;

die genialen Männer, die die theoretische Physik geschaffen, haben eingesehen, daß, wenn man in diese Arbeit Ordnung und Klarheit bringen will, es erforderlich sei, diese Eigenschaften bei den einzigen Wissenschaften, die naturgemäß geordnet und klar sind, bei den mathematischen zu suchen. Aber sie konnten doch nicht bewirken, daß die Klarheit und Ordnung in der Physik sich ebenso, wie in der Arithmetik und Geometrie mit einer Art unmittelbar erlangter Gewißheit vereinige. Alles, was sie leisten konnten, war, daß sie sich einer Menge direkt aus der Beobachtung abgeleiteter Gesetze — verwirrter, verwickelter, ungeordneter, aber mit einer direkt konstatierbaren Sicherheit versehener Gesetze — gegenüber stellten und von diesen eine symbolische Darstellung zeichneten, eine Darstellung, die bewunderungswürdig klar und geordnet ist, von der man aber nicht mehr genau sagen kann, ob sie wahr ist.

Im Gebiete der Gesetze der Beobachtung regiert der gewöhnliche Verstand; er allein entscheidet durch unsere natürlichen Mittel des Wahrnehmens und des Urteilens über unsere Wahrnehmungen, über Wahr und Falsch. Im Gebiete der schematischen Darstellung ist die mathematische Deduktion souveräne Herrscherin, alles muß sich den von ihr vorgeschriebenen Regeln fügen. Aber zwischen den beiden Gebieten besteht eine fortwährende Zirkulation, eine fortwährender Austausch von Lehrsätzen und Vorstellungen. Die Theorie fordert von der Beobachtung, daß sie eine ihrer Konsequenzen der Kontrolle der Tatsachen unterwerfe; die Beobachtung veranlaßt die Theorie, eine alte Hypothese zu modifizieren oder eine neue zu formulieren. In der Zwischenzone, durch die sich dieser Austausch vollzieht, durch die die Verbindung zwischen Beobachtung und Theorie gesichert ist, wetteifern der gewöhnliche Verstand und die mathematische Logik, um ihren Einfluß wirken zu lassen, und mischen in unentwirrbarer Art die ihnen eigenen Verfahren untereinander.

Diese doppelte Bewegung, die es allein der Physik ermöglicht, die Gewißheit der Konstatierungen des gewöhnlichen Lebens mit der Klarheit mathematischer Deduktionen zu

vereinigen, wurde von Herrn Edouard Le Roy[1]) folgendermaßen geschildert:

„Kurz gesagt, Notwendigkeit und Wahrheit sind die beiden äußersten Pole der Wissenschaft. Aber diese beiden Pole fallen nicht zusammen, sie sind das Rote und das Violette im Spektrum. In der zwischen ihnen befindlichen Verbindung, der einzigen wirklich erlebten Realität, variieren die Wahrheit und Notwendigkeit im umgekehrten Sinn, je nachdem, welchem der beiden Pole man sich zuwendet . . . Wenn man sich entschließt, nach dem Notwendigen zu gehen, so wendet man dem Wahren den Rücken, man arbeitet dann an der Beseitigung alles dessen, was Erfahrung und Intuition ist, man beschäftigt sich mit dem Schema der reinen Überlegung, dem formellen Spiel der Symbole ohne Bedeutung. Dagegen muß man, um die Wahrheit zu erlangen, den Weg in umgekehrtem Sinne machen; das Bild, die Eigenschaft, das Konkrete gewinnen ihre vorherrschenden Rechte wieder; man sieht dann die Urteilsnotwendigkeit in der erlebten Zufälligkeit gradweise vergehen. Schließlich sind es nicht die gleichen Eigenschaften, durch die die Wissenschaft notwendig und durch die sie wahr ist, durch die sie streng und durch sie objektiv ist."

Die Tragweite dieser Worte geht vielleicht ein wenig weiter als ihr Autor gedacht; jedenfalls genügt es, damit sie vollkommen unsere Gedanken ausdrücken, an Stelle der Worte Strenge und Notwendigkeit, die Hr. Le Roy verwendet, die Worte Ordnung und Klarheit zu setzen.

Die Erklärung, daß die physikalische Wissenschaft aus zwei Quellen hervorgeht, ist sehr richtig. Die eine, die Sicherheit, das ist der gewöhnliche Verstand, die andere die Klarheit, das ist die mathematische Deduktion; und die physikalische Wissenschaft besitzt gleichzeitig Sicherheit und Klarheit, weil die Fluten, die aus diesen beiden Quellen entspringen, zusammenlaufen und vollständig ihre Wasser mischen.

[1]) Édouard Le Roy: Sur quelques objections adressées à la nouvelle philosophie. (Revue de Métaphysique et de Morale, 1901, p. 319.)

In der Geometrie sind die klare Erkenntnis, wie sie die deduktive Logik hervorbringt und die gewisse Erkenntnis, wie sie dem gewöhnlichen Verstande entstammt, so genau zusammengefügt, daß man keine Mischungszone bemerken kann, wo sich nebeneinander alle unsere Erkenntnismittel um die Wette betätigen; das ist der Grund, warum der Mathematiker, wenn er die physikalischen Wissenschaften behandelt, leicht die Existenz dieser Zone vergißt, warum er die Physik ebenso, wie seine bevorzugte Wissenschaft auf Axiome, die unmittelbar aus dem gewöhnlichen Wissen abgeleitet sind, aufbauen will; er verfolgt jenes Ideal, das Hr. Ernst Mach so richtig falsche Strenge nennt[1]) und riskiert dabei, nichts zu erlangen, als Beweise, die von Trugschlüssen strotzen und in denen eine petitio principii neben der anderen sich befindet.

§ 6. — Die Wichtigkeit der historischen Methode in der Physik.

Wie wird der Lehrer, dessen Amt es ist, die Physik darzustellen, seine Schüler vor den Gefahren einer derartigen Methode bewahren? Wie wird er sie lehren können, den ungeheuren Abstand, der das Gebiet der gewöhnlichen Erfahrung, in dem die Gesetze des gewöhnlichen Lebens herrschen, von dem theoretischen Gebiete, das in klare Prinzipien geordnet ist, trennt, mit dem Blick zu erfassen? Wie wird er sie lehren können, gleichzeitig den doppelten Lauf, durch den der Geist eine fortwährende und wechselseitige Verbindung zwischen diesen beiden Gebieten herstellt, zu verfolgen; diese beiden Gebiete bestehen einerseits aus der empirischen Kenntnis, die ohne Theorie die Physik auf ungestaltes Material zurückführen würde und andererseits aus der mathematischen Theorie, die von der Beobachtung getrennt, des Zeugnisses der Sinne beraubt, der Wissenschaft nur eine inhaltslose Gestalt geben würde.

Aber warum sollen wir uns diese Methode in allen Einzelheiten ersinnen? Haben wir nicht vor uns einen Studie-

[1]) Ernst Mach: Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt, 5. Auflage 1904, p. 82.

renden, der in der Kindheit keine der physikalischen Theorien kannte, der aber im Mannesalter zur vollen Kenntnis aller Hypothesen, auf denen diese Theorien ruhen, gelangt ist. Dieser Studierende, dessen Erziehung sich durch Jahrtausende vollzog, ist die Menschheit. Warum sollen wir nicht in der intellektuellen Bildung des einzelnen Menschen den Fortschritt nachahmen, durch den sich die menschliche Wissenschaft gebildet hat? Warum bereiten wir nicht die Einführung einer jeden Hypothese in den Unterricht durch eine gedrängte aber getreue Darlegung der Schicksale, die ihrer Einführung in die Wissenschaft vorangegangen waren, vor?

Die richtige, sichere und fruchtbare Methode, um einen Geist zur Aufnahme einer physikalischen Hypothese vorzubereiten, ist die historische. Das beste, ja das einzige Mittel, um denjenigen, die die Physik studieren, eine richtige Vorstellung und einen klaren Überblick über die so verwickelte und so mannigfaltige Organisation dieser Wissenschaft zu geben, besteht in folgendem: Man zeichne die Umbildungen, die bei der Aufstellung der theoretischen Form durch das Anwachsen des empirischen Materials bedingt waren, man beschreibe die lange gemeinsame Arbeit, in der der gewöhnliche Verstand und die deduktive Logik dieses Material analysiert und diese Form gemeißelt haben, bis sie sich genau aneinander anpaßten.

Ohne Zweifel ist es unmöglich, den langsamen, zögernden, tastenden Weg, auf dem der menschliche Geist bis zur klaren Einsicht in jedes physikalische Prinzip vorgeschritten ist, Schritt für Schritt zu verfolgen. Es wäre hierzu zu viel Zeit nötig; die Entwicklung jeder Hypothese, die in den Unterricht eingeführt wird, muß verkürzt und gedrängt dargestellt werden, sie muß in demselben Verhältnis reduziert werden, in dem die Dauer der Erziehung eines Menschen zur Dauer des Aufbaues der Wissenschaft steht; durch eine ähnliche Abkürzung geben auch die Metamorphosen, durch die ein Wesen vom embryonalen Zustand zum mannbaren übergeht, die wirkliche oder ideale Entwicklungslinie wieder, durch die dieses Wesen mit dem ersten Ursprung aller Lebewesen verknüpft ist.

Übrigens ist diese Abkürzung fast immer leicht, vorausgesetzt, daß man alles Zufällige einfach beiseite läßt — den Namen des Autors, das Datum der Erfindung, Episoden und Anekdoten — und sich allein an die historischen Tatsachen hält, die in den Augen des Physikers wichtig erscheinen, an die Umstände, unter denen die Theorie um ein neues Prinzip bereichert wurde, eine Dunkelheit sich aufhellte, ein Irrtum verschwand.

Die Wichtigkeit, die die Geschichte der Methoden, auf Grund deren die Entdeckungen ausgeführt wurden, für das Studium der Physik besitzen, zeigt von neuem den außerordentlichen Unterschied zwischen der Physik und der Mathematik.

In der Mathematik, in der die Klarheit der deduktiven Methode sich direkt mit den Selbstverständlichkeiten des gewöhnlichen Lebens verbindet, kann der Unterricht in rein logischer Weise gegeben werden; es genügt, daß ein Postulat ausgesprochen werde, damit der Studierende sogleich das durch das gewöhnliche Wissen gegebene, das in einem derartigen Urteil zusammengefaßt wird, erfasse; er braucht den Weg, auf dem dieses Postulat in die Wissenschaft gelangt ist, nicht zu kennen. Die Geschichte der Mathematik verdient sicherlich mit Recht großes Interesse, aber sie ist nicht wesentlich für das Verständnis der Mathematik.

Dem ist nicht so in der Physik. In dieser Wissenschaft darf der Unterricht, wie wir gesehen haben, nicht bloß und ganz logisch sein. Folglich ist das einzige Mittel, um die formalen Urteile der Theorie mit dem Stoff der Tatsachen, die diese Urteile darstellen sollen, unter Vermeidung des verstohlenen Eindringens falscher Vorstellungen zu verbinden, wenn man jede wesentliche Hypothese durch ihre Geschichte rechtfertigt.

Die Darlegung der Geschichte eines physikalischen Prinzipes bedeutet gleichzeitig die logische Analyse desselben. Die Kritik der intellektuellen Methoden, die die Physik verwendet, verbindet sich in unlöslicher Weise mit der Darlegung der stufenweisen Entwicklung, durch die die Deduktion die Theorie vervollkommnet und gibt dadurch ein immer genaueres, immer geordneteres Bild der Gesetze, die die Beobachtung aufzeigt.

Überdies kann einzig die Geschichte der Wissenschaft den Physiker vor dem törichten Ehrgeiz des Dogmatismus, wie vor der Verzweiflung des Pyrrhonismus bewahren.

Indem sie ihm wieder die lange Serie der Irrtümer und Zweifel, die der Entdeckung eines jeden Prinzipes vorangegangen sind, aufzeigt, macht sie ihn wachsam gegen die falschen Augenscheinlichkeiten; indem sie ihm die Schicksale der kosmologischen Schulen ins Gedächtnis bringt, indem sie die ehemals triumphierenden Doktrinen aus ihrer Vergessenheit, in der sie nun ruhen, wieder ausgräbt, erinnert sie ihn daran, daß die verführerischsten Systeme nur provisorische Darstellungen und nicht definitive Erklärungen sind.

Und andererseits läßt sie vor seinen Augen die ununterbrochene Tradition vorüberziehen, durch die die Wissenschaft einer jeden Epoche aus den Systemen vergangener Jahrhunderte Nahrung gezogen, durch die sie die Physik der Zukunft in sich trägt; sie zitiert ihm die Weissagungen, die die Theorie formuliert und die durch das Experiment realisiert wurden, sie schafft und befestigt in ihm die Überzeugung, daß die physikalische Theorie nicht ein rein künstliches System sei, welches heute bequem, morgen aber nutzlos sein wird, daß sie eine immer mehr naturgemäße Klassifikation, ein immer klarerer Reflex der Realitäten werde, die die experimentelle Methode nicht von Angesicht zu Angesicht sehen kann.

Jedesmal, wenn der Geist des Physikers in die Gefahr gerät, einen Exzeß zu begehen, bringt ihn das Studium der Geschichte durch einen entsprechenden Verweis auf den rechten Weg; die Geschichte könnte die Rolle, die sie in bezug auf den Physiker spielt, unter Entlehnung eines Wortes Pascals[1]) folgendermaßen definieren: „Wenn er sich rühmt, dann erniedrige ich ihn, wenn er sich erniedrigt, dann rühme ich ihn.“ Sie hält ihn so in jenem Zustande des vollkommenen Gleichgewichtes, in dem er richtig das Ziel und die Struktur der physikalischen Theorien einschätzen kann.

[1]) Pascal: Pensées, Édition Havet, art. 8.

LIBRAIRIE MARCEL RIVIERE

30, RUE JACOB, PARIS (6e) — Téléphone: 816-84

Bibliothèque de Philosophie expérimentale

Publiée sous la Direction du Prof. E. PEILLAUBE

Cette Collection est le prolongement naturel de la Revue de Philosophie dont tout l'effort tend à édifier, sur les bases de l'observation et de l'expérience physique ou morale, la synthèse métaphysique la plus compréhensive. La Bibliothèque de Philosophie expérimentale a été fondée pour susciter un certain nombre de monographies sur les problèmes les plus importants de l'heure actuelle. Tout esprit cultivé, sans être un spécialiste, aura ainsi le moyen de se tenir au courant des principales directions de la pensée en matière de philosophie et de sciences.

Volumes Parus

I

Le Psychisme inférieur

Étude de Physiopathologie clinique des centres psychiques

par le Dr. GRASSET

Professeur de clinique à l'Université de Montpellier

1 vol. in-8 carré de 516 p., fig. Prix (Broché . . . . . 9 Frs. (Relié percal. anglaise 10 Frs. 50

II

La Théorie physique

Son Objet et sa Structure

par P. DUHEM

Membre correspondant de l'Institut de France
Professeur de physique théorique à l'Université de Bordeaux

1 vol. in-8 carré de 450 per Prix (Broché . . . . . 8 Frs. (Relié . . . . . 9 Frs. 50

III

Dieu L'expérience en métaphysique

par X. MOISANT

1 vol. in-8 carré (Broché . . . 7 Frs. (Relié . . . . 8 Frs. 50

IV

Principes de Linguistique psychologique

par J. van GINNEHEN

1 vol. in-8 carré { Broché 12 Frs. / Relié 13 Frs. 50

Sous Presse

V

La Psychologie

par W. JAMES

Membre correspondant de l'Institut de France, professeur à Harvard University.

VI

Les Images

Essai sur les phénomènes de mémoire et d'imagination

par E. PEILLAUBE

Professeur à l'Institut catholique de Paris, Directeur de la Revue de Philosophie

1 vol. in-8 carré

VII

Cournot et la Philosophie des Sciences

par F. MENTRÉ

Professeur à l'École des Roches

avec un portrait et un autographe

1 vol. in-8 carré

VIII

L'Activité biologique

par M. P. VIGNON

du Laboratoire de Zoologie à la Sorbonne

1 vol. in-8

IX

La Psychologie de la Main

par N. VASCHIDE

Directeur du laboratoire de Psychologie pathologique à l'Ecole pratique des Hautes Etudes à la Sorbonne

1 vol. in-8

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

Erkenntnis und Irrtum.

Skizzen zur Psychologie der Forschung.

Von

E. MACH

Emer. Professor an der Universität Wien.

2. durchgesehene Auflage.

[XII, 474 Seiten.] 1906. M. 10.—, gebunden M. 11.—.

Zeitschrift für den physik. u. chem. Unterricht, Heft 1, 1907.

Es ist ein erfreulicher Beweis für das vorhandene Interesse an methodologischer Betrachtung, daß das wertvolle Buch so schnell eine zweite Auflage erlebt hat. Diese unterscheidet sich von der ersten nur unwesentlich, insbesondere sind Hinweise auf einige Schriften verwandten Inhalts in Anmerkungen hinzugefügt. Unter diesen Schriften ist besonders bemerkenswert das Werk von Duhem, La théorie physique, son objet et sa structure (1906), das in den Ergebnissen mit denen Machs zusammentrifft. Während Mach in seinem Buche hauptsächlich die Unterschiede des vulgären und des wissenschaftlichen Denkens hervorhebt, beleuchtet Duhem besonders „die Unterschiede des vulgären und des kritisch-physikalischen Beobachtens und Denkens", beide Werke ergänzen sich daher auch auf das glücklichste.

Monatsschrift für Kriminalpsychologie, IV., 1.

Für die steigende Teilnahme, die unsere Zeit den theoretischen Grundlagen der Forschung entgegenbringt, spricht die bloße Tatsache, daß ein so umfangreiches und schwieriges Werk, wie das obengenannte von Mach, in ganz kurzer Zeit die zweite Auflage erlebt hat. In erster Linie freilich dankt es diesen Erfolg seinen „persönlichen" Vorzügen, ja, es ist nicht zuviel gesagt, wenn man es zu jenen seltenen Büchern rechnet, die bei aller Wissenschaftlichkeit so anregend und fesselnd geschrieben sind, daß man sie ohne Unterbrechung bis zur letzten Seite durchliest. Was Mach gibt, ist nicht mehr und nicht weniger als eine Methodologie der exakten Forschung. Die Beispiele entnimmt er dabei, seinem engeren Arbeitsbereich entsprechend, in der Hauptsache der Physik und der Mathematik. Schon dadurch bildet das Buch eine hochwillkommene Ergänzung der vorhandenen Wissenschaftstheorien, die, als von Philosophen geschrieben, sich überwiegend an den Geisteswissenschaften zu orientieren pflegen. — Am Schlusse seiner „Analyse" spricht Mach von der pflichtgemäßen Überlegenheit des Rezensenten. Ich gestehe, daß ich seinem jüngsten Werke gegenüber auf diese „Pflicht" mit Freuden verzichtet habe. Ich habe nur gelesen und bewundert, bald die ungemeine Belesenheit des Verfassers, bald die außerordentlich lichtvolle Darstellung. Ich kann lediglich bitten, diesen Satz durch eigne Lektüre nachzuprüfen. Gewiß erfordert das Studium des Buches Arbeit, aber sie wird überreichlich gelohnt.

Deutsche Literaturzeitung, Nr. 47.

Mach hat das Verdienst, aus der Naturwissenschaft alte abgestandene Reste psychologischer und philosophischer Anschauungen entfernt und dafür solche eingeführt zu haben, die er in vierzigjähriger Forscherarbeit bewährt gefunden hat. Eine solche Läuterung ihrer Grundlagen wird der Forschung von größtem Nutzen sein und solche Mißgeburten wie den Haeckelschen Monismus, wenn nicht unmöglich machen, so doch aus den Fachkreisen völlig ausschließen.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

Populärwissenschaftliche Vorlesungen.

Von B. MACH.

3. verm. Aufl. [XI, 403 S. mit 60 Abbildungen.] 1903. M. 6.—, geb. M. 6.80.

Inhalt: Die Gestalten der Flüssigkeit. Über die Cortischen Fasern des Ohres. Die Erklärung der Harmonie. Zur Geschichte der Akustik. Über die Geschwindigkeit des Lichtes. Wozu hat der Mensch zwei Augen. Die Symmetrie. Bemerkungen zur Lehre vom räumlichen Sehen. Über die Grundbegriffe der Elektrostatik (Menge, Potential, Kapazität usw.). Über das Prinzip der Erhaltung der Energie. Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. Über Umbildung und Anpassung im naturwissenschaftlichen Denken. Über das Prinzip der Vergleichung in der Physik. Über den Einfluß zufälliger Umstände auf die Entwicklung von Erfindungen und Entdeckungen. Über den relativen Bildungswert der philologischen und der mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer der höheren Schulen. Über Erscheinungen an fliegenden Projektilen. Über Orientierungsempfindungen.

Zeitschrift für phys. Chemie: Mach gehört zu unseren bedeutendsten Denkern im erkenntnistheoretischen Gebiete . . . Auf den Inhalt des Buches geht der Ref. absichtlich nicht ein; wenn jemand, so muß Mach im Original gelesen werden. Es wird genügen, allen Lesern dringend an das Herz zu legen, sich das Buch zu kaufen und es nicht nur einmal, sondern von Zeit zu Zeit wieder zu lesen. Jeder wird hier oder da denselben Einfluß erfahren, den Kant von seinem Studium Humes berichtet: daß er nämlich aus seinem dogmatischen Schlummer geweckt wird.

Naturwissenschaftliche Rundschau: Jede einzelne der 19 Vorlesungen trägt das Gepräge des Machschen Geistes und verdient als Muster dieser Gattung unserer Literatur die weiteste Verbreitung. . . . Vielleicht wird mancher Leser durch diese Vorlesungen veranlaßt, sich mit den sonstigen Schriften unseres gediegenen Naturphilosophen weiter zu beschäftigen und aus ihrer vornehmen Haltung, die stets auf der Höhe des Gedankens bleibt, reichen Genuß zu ziehen.

Die Prinzipien der Wärmelehre.

Historisch-kritisch entwickelt.

Von B. MACH.

2. Auflage.

[VIII, 484 S. mit 105 Figuren und 6 Porträts.] 1900. M. 10.—, geb. M. 11.—.

Zeitschrift für phys. Chemie: Mit dem vorliegenden Werke hat der Verfasser allen denen, die in irgend einer Weise an der heutigen Entwicklung der Wärmeenergetik interessiert sind — und welcher Chemiker, Physiker oder Techniker wäre es nicht — einen ungemein dankenswerten Dienst erwiesen. In gleicher Weise wie in seiner noch viel zu wenig gelesenen „Mechanik" hat Mach die einzelnen Grundlagen unserer Kenntnisse in ihrer geschichtlichen Entwicklung dargestellt und führt an dem Faden des historischen Fortschrittes seine Leser in der wirksamsten und anregendsten Weise in der Beherrschung des tatsächlichen und gedanklichen Materials ein, welches den Inhalt dieser Wissenschaft bildet.

Münchener Allgem. Zeitung: Wir begrüßen die 2., einigermaßen erweiterte Auflage von Machs Werk und wollen hiermit dasselbe als die Geistesarbeit eines im wahrsten Sinne des Wortes hervorragenden Naturphilosophen einem möglichst großen Kreis von denkenden Lesern empfehlen.